Public Works Canada
Travaux publics Canada

Architectural and Engineering Services
Services d'architecture et de génie

Building Performance Evaluation Series

Structural Walls and Columns: Condition Survey

Document D30

Canada

89-01932/

Building Performance Evaluation Series

Structural Walls and Columns: Condition Survey

Document D30

AES 1-4:86-39

March 1988

The Minister of Public Works makes no representation or warranty, express or implied, with respect to this publication or the programs or information described in this publication, their quality, merchantability, or fitness for any particular purpose, or their adequacy to produce any particular result. In no event shall the Minister or Her Majesty the Queen in right of Canada, Her employees, servants or agents be legally liable to any person or persons for any damage, whether direct, indirect or consequential, resulting from the use of said publication or the programs or the information contained therein.

Published by Architectural and Engineering Services
Public Works Canada

Public Works Canada | Travaux publics Canada

DOCUMENT DATA

1. Document Title STRUCTURAL WALLS AND COLUMNS: CONDITION SURVEY	2. Control Number AES/SAG 1-4:86-39
	3. Date March 1988
4. Contact C. Patrickson, Public Works Canada	5. Consultant's Ref. No.
6. Project Manager	7. Discipline Series No. D30
8. Preparation Agency and Address Building Performance Division, Public Works Canada Room C-456, Sir Charles Tupper Building Riverside Drive, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Telephone: (613) 998-7830	9. Document Type Guideline
	10. No. of Pages 57
11. Sponsoring Agency and Address D.C. and R.T. Appropriated Programs Accommodation Branch	12. PWC File No. A4270-16
	13. PWC Project No. 602055
14. Supplementary Notes Questions and comments should be directed to the preparation agency, in 8 above.	15. SSC Publication No.
	16. ISBN

17. Abstract

This document outlines the testing methods and the analysis required in structural walls and columns assessment. A series of tests is provided for the compressive elements of a structure to assess their condition and ability to support loads. Areas are identified which commonly need inspection because of deterioration. A list of questions and check points are given for the preliminary assessment stage. Tests described range from unequipped observation and use analysis, to archival searches and more in-depth studies. The Schmidt rebound hammer test, Windsor probe test, ultrasonic testing, and the covermeter (pacometer) test are the complex non-destructive tests described in this document. Further research can be done by consulting the list of references.

18. Distribution Statement Copies are available from: Documentation Centre Architectural & Engineering Services Public Works Canada Sir Charles Tupper Bldg., Riverside Dr. Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Keywords	
	20. Documentation Centre Catalogue No. BP D30b	21. Price

DPW 2398 (86/09)

TABLE OF CONTENTS

	PREFACE	*ix*
1.	**INTRODUCTION**	*1*
1.1	Purpose and Objectives	*1*
1.2	Background Information	*1*
2.	**TERMS OF REFERENCE**	*2*
2.1	General Framework	*2*
2.2	Limitations of Evaluation Technique	*2*
3.	**METHODOLOGY**	*3*
3.1	Stage I – Preliminary Assessment	*3*
3.1.1	Plan and Archive Analysis	*3*
3.1.1.1	Description of Techniques	*3*
3.1.1.2	Resource Allocation and Timing	*3*
3.1.2	Expert Walkthrough Analysis	*3*
3.1.2.1	Description of Techniques	*4*
3.1.2.2	Equipment	*4*
3.1.2.3	Assessment	*4*
3.1.2.4	Resource Allocation and Timing	*4*
3.1.2.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*5*
3.1.3	Occupancy and Use Analysis	*5*
3.1.3.1	Description of Techniques	*5*
3.1.3.2	Equipment	*5*
3.1.3.3	Assessment	*5*
3.1.3.4	Resource Allocation and Timing	*5*
3.1.3.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*5*
3.2	Stage II – Simple Measurement Techniques	*5*
3.2.1	Measuring Dimensions and Checking Tolerances	*6*
3.2.1.1	Description of Techniques	*6*
3.2.1.2	Equipment	*6*
3.2.1.3	Detailed Procedure	*6*
3.2.1.4	Resource Allocation and Timing	*7*
3.2.1.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*7*
3.2.2	Determining Material Properties	*7*
3.2.2.1	Description of Techniques	*7*
3.2.2.2	Equipment	*8*
3.2.2.3	Assessment	*8*
3.2.2.4	Resource Allocation and Timing	*8*
3.2.2.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*8*

3.2.3	Inspecting Walls	*8*
3.2.3.1	Description of Techniques	*8*
3.2.3.2	Equipment	*9*
3.2.3.3	Assessment	*9*
	(a) Masonry Walls	*9*
	(b) Precast Cladding and Stone Veneer Walls	*13*
	(c) Brick Veneer Wall Systems with Steel Stud Back-up	*13*
3.2.3.4	Resource Allocation and Timing	*14*
3.2.3.5	Documentation: Creation and Retention of Working Papers	*14*
3.3	Stage III - Specialized In-Depth Monitoring	*14*
3.3.1	Non-destructive Tests	*14*
3.3.1.1	Schmidt Rebound Hammer Test	*14*
3.3.1.2	Windsor Probe Test	*15*
3.3.1.3	Ultrasonic Tests	*15*
3.3.1.4	Covermeter or Pachometer Test	*15*
4.	**REFERENCES**	*45*
5.	**APPENDICES**	*49*
5.1	Standard Terms and Units of Measurement - not applicable	
5.2	Governing Authorities and Regulations	*49*
5.3	Checklist for Stage I - Plan and Archive Analysis	*49*
5.3.1	Building Identification	*49*
5.3.2	Design Data	*50*
5.3.3	Working Drawings	*51*
5.3.4	Assessment	*51*
5.4	Checklist for Stage I - Expert Walkthrough Analysis	*51*
5.4.1	Building Identification	*51*
5.4.2	Summary Evaluation	*52*
5.4.3	Rating and Evaluation of Walls and Columns	*52*
5.4.3.1	Description	*52*
5.4.3.2	Rate Structural Condition of Walls and Columns	*53*
5.5	Suggested Interview Questions for Stage I - Occupancy and Use	*54*
5.5.1	Questions if the interviewee was at the site during construction	*55*
5.5.2	Questions if the interviewee is an occupant	*56*
5.6	Building Performance Evaluation Document List	*57*

LIST OF FIGURES

3.2.1	Column Showing Missed Reglet for Flashing	16
3.2.2	Flashing Detail at Shelf Angle	17
3.2.3	Flashing Details at a Column	18
3.2.4	Weephole Deficiencies	19
3.2.5	Parapet Cap Detail	20
3.2.6	Parapet Flashing Details	21
3.2.7	Window Sill Details	22
3.2.8	Example of Inadequate Bearing	23
3.2.9	Detail of Joint at Shelf Angle	24
3.2.10	Buckling Brick Veneer	25
3.2.11	Bricks Cracked by Wall Expansion	26
3.2.12	Types of Cracking in Masonry Walls	27
3.2.13	Cracking due to Dried Clay Swelling	28
3.2.14	Effect of Outward Movement of Roof Joists (roof spreading)	29
3.2.15	Shear or Flexure Cracks in Longitudinal Walls and Flexure in Transverse Walls	30
3.2.16	Cracks due to Excessive Movements between a Brick Masonry and a Supporting Concrete Foundation	31
3.2.17	Parapet Damage	32
3.2.18	Effects of Expansion and Contraction on Low Masonry Walls	33
3.2.19	Expansion at a Corner	34
3.2.20	Shear Cracks in Transverse Walls	35
3.2.21	Block Shrinkage or Truss Uplift	36
3.2.22	Tale-Tales for Crack Control	37
3.2.23	Types of Mortar Joint Treatment	38
3.2.24	Typical Locations of Movement Control Joints	39
3.2.25	Movement Joint at Column	40
3.2.26	Width Filling of Expansion Joints	41
3.2.27	Anchor Details	42
3.2.28	Typical Anchor Details for Stone Veneer	44

PREFACE

A good knowledge of the condition of a building structure is required when a modification of the structure is needed to adapt the building to a new purpose. It is also required when, due to aging or deterioration, the existing structural capacity to sustain loads needs to be verified or repairs need to be designed and cost evaluated.

To evaluate the structural performance of a building, information is needed on its structural system and on the cause of its deterioration. The purpose of this document is to assist the engineer in the condition survey of walls and columns — the compressive structural components. To help the evaluation process a series of investigation techniques are presented. A time allowance for each technique has been included, although resources can only be budgeted when the specifics of the building are known.

This document is one of a series dealing with condition surveys of deteriorated buildings. The other two documents deal with flexural members — roofs, floors, slabs and beams — and with parking garages. This report complements the Roofs and Floors document and readers are referred to it for a more thorough explanation of some of the techniques discussed here.

1. INTRODUCTION

1.1 PURPOSE AND OBJECTIVES

This document describes three stages of evaluation for a condition survey of structural walls and columns in a building. These levels, in order of increasing complexity are:

Stage I – Preliminary Assessment
Stage II – Simple Measurement Techniques
Stage III – Specialized In-Depth Monitoring

The investigations should be done by a structural engineer or by someone under his supervision. Checklists for three Stage I methods are included in the Appendix. The investigators should carry the checklists while doing the survey to ensure that all items are covered.

1.2 BACKGROUND INFORMATION

This document deals with walls and columns, the compressive elements in buildings. Deterioration of walls and columns is usually manifested by tilting, bulging, material degradation, corrosion, spalling, efflorescence, cracks, dampness, gross deformations and general decay. Most problems occur with veneer walls, curtain walls, masonry bearing walls, interior partitions and parapets.

Sometimes compressive-flexural elements of buildings (walls, columns and some frames) have to be assessed to ensure compliance with the National Building Code. Other reasons for such an assessment include:

Deterioration of structural elements – thermal effects, freeze-thaw action, creep and shrinkage may cause excessive cracks. Dampness and chemical agents may produce corrosion and degradation of materials. Excessive deflection of structural elements may cause secondary problems such as broken glass, stuck doors, deteriorated seals and air/vapour barrier, plus cracked and loosened bricks. Foundation settlement or upheaval may cause partial destruction of walls and columns.

Substandard structural elements – a complete structural assessment may be necessary to establish the behavior of structural components of unknown or questionable quality. Examples of substandard conditions include poor concrete formwork, concrete with honeycombs, misplaced reinforcing bars, poor welds, tilted columns, incorrectly aligned structural elements, poor column connections, poor lateral support to bearing walls and columns, ties that are missing or misplaced or bent in the field to make them fit, and poorly designed expansion and control joints.

Change in occupancy – remodelling, upgrading or modification of a building may cause increased loads which may lead to damage to walls and columns.

Proof of performance – where extensive structural modifications, improvements or repairs have been made, their adequacy may need to be demonstrated.

2. TERMS OF REFERENCE

2.1 GENERAL FRAMEWORK

Although construction has become safer through the years, buildings still experience failures, usually due to simple reasons like human errors, change in occupancy, lack of adequate knowledge or poor supervision during construction. The evaluation process of reviewing the building's structure with building codes and standards is a good way of identifying most of these problems.

2.2 LIMITATIONS OF EVALUATION TECHNIQUE

The structural performance of compressive elements can often be assessed by observing effects such as deformations and cracks. In some buildings, some concrete, bricks, stone work or masonry blocks may have to be removed to determine the extent of the problem.

3. METHODOLOGY

3.1 STAGE I – PRELIMINARY ASSESSMENT

3.1.1 Plan and Archive Analysis

3.1.1.1 Description of Techniques

The first step in the investigation of an existing building is to review the plans, specifications and other documents including soils and foundation reports. Preferably, the as–built drawings should be obtained whenever possible. Reports of previous investigations and repair are also useful.

From the drawings and specifications, the following information should be obtained:

a) date of construction,
b) building code then in effect,
c) design loads,
d) material properties of structural components
e) year of the applied building code and material standards.

Plans and drawings should be examined to detect changes. The originally intended use of the building should be determined and compared to its present use.

Factors that the original design may have not considered and which deserve reexamination include the loads not originally intended, a wide range of temperature changes, the presence of chemicals and uncontrolled moisture.

All aspects having structural implications must be reviewed, including revisions to the protection of structural elements against deteriorating agents such as fire, rain, snow, wind and storms. The environment and occupancy suitability of structural materials should be examined. The design of bracing secondary structural elements such as fasteners, splices, stiffeners, connections, expansion joints and control joints should be considered. The effects of plumbing, HVAC equipment and other services should also be taken into account.

The effectiveness of the evaluation will be improved by using the (plan and archive analysis) checklist and forms in Section 5.3.

3.1.1.2 Resource Allocation and Timing

Depending on the size and complexity of the building and the availability of the information, a Plan and Archive analysis should not take more than a few days.

3.1.2 Expert Walkthrough Analysis

The walkthrough analysis is an evaluation technique based primarily on visual inspection and aimed at obtaining an overall assessment of the structural condition of the walls and columns of a building. While the procedure is not only time consuming and simple, it must establish the seriousness of distress so that further investigations if warranted, are undertaken.

3.1.2.1 Description of Techniques

The technical competence of the person doing the evaluation is important. The investigator shcould have a thorough understanding of the codes, the intent and meaning of the various code provisions, and of the symptoms that reveal the condition of structural components.

The checklist for a condition survey of the walls and columns of a building is given in Section 5.4. In addition to filling in the checklist, the inspector should take photographs of deteriorated components or suspicious areas.

The investigator should look for lateral displacements and off plumb, lack of vertical alignment, foundation settlements, design conditions causing unusual moments on vertical elements, rotations at support edges of walls, cracks, dampness, stains, spalling, flaking and wall movement. Any of these symptoms must be thoroughly investigated for their structural implications. For example, simple stains may lead to the discovery of moisture which ultimately is causing steel corrosions; cracks in a wall may be the result of foundation deformation; and lateral displacement may be the result of unbalanced loads on poorly designed steel frames.

3.1.2.2 Equipment

The following equipment is useful in conducting an expert walkthrough analysis:

- camera with telephoto, wide angle and close-up lenses, colour film, flash attachments and photograph record forms,
- clipboard, checklists, pad of paper, marking crayons, waterproof felt pens (2 colours)
- measuring tape, measuring magnifier with 0.1 mm scale, string, plumb bob and carpenter level,
- flashlight, putty knife or heavy duty pocket knife, and hammer.
- binoculars

3.1.2.3 Assessment

Apart from the structural guidelines in the building code, a basic requirement for the expert walkthrough is "visual acceptability", meaning that the appearance of walls should not be objectionable because of lateral deflection or deformation, cracking or spalling. Expansion joints and the spacing of control joints as well as wall, ceiling and floor joints must be checked for signs of displacement or deformations. Integrity of the sealant in these joints should be checked.

The effects of humidity should also be noted by looking for indications of condensation on the inner surface of exterior walls and windows.

3.1.2.4 Resource Allocation and Timing

Two days are generally sufficient for inspecting a 10,000 m^2 building, provided no special problems are encountered. Larger buildings will require more time.

3.1.2.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Clear and complete records should be produced during the inspection. all the inspected areas should be identified by floor level and location. Sketches should be made of important sections and photographs taken of deteriorated or suspicious areas. In taking photographs, each picture should be carefully referred to a plan. Scale and date of the pictures should be provided.

3.1.3 Occupancy and Use Analysis

In this evaluation technique, the investigator interviews the construction supervisor or the building manager and occupants to determine any structural problems that they are aware of. This procedure augments the information already gathered in the Expert Walkthrough Analysis.

3.1.3.1 Description of Techniques

The construction supervisor, – if available, – or the building's manager and occupants are interviewed and their answers are recorded. A tape recorder may be used if permission is granted.

To assist the investigator, a list of questions is provided in Section 5.5. This list is intended as a guideline: the investigator should ask additional questions as required to obtain a more complete picture of the building's condition.

3.1.3.2 Equipment

A tape recorder may be used.

3.1.3.3 Assessment

Information from the interview forms should be analyzed and relate to the results of the Expert Walkthrough analysis to provide an improved assessment of the structure.

3.1.3.4 Resource Allocation and Timing

Approximately two days are required to complete these interviews and document the findings.

3.1.3.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

All questionnaires must be retained and their analysis reported.

3.2 STAGE II – SIMPLE MEASUREMENT TECHNIQUES

At this stage, simple tests are conducted so that an analysis can be done to determine the structural condition of the walls and columns. These tests are required if signs of deterioration were found in the Expert Walkthrough Analysis and the Occupant Interview Analysis.

To keep costs down, the investigation should concentrate on critical areas of the building that are typical of deficiencies.

The first step in evaluating the performance of walls and columns consists of measuring their actual dimensions, checking their alignments and obtaining a measure of the real strengths of their constitutive elements. If the dimensions and stengths are suspected to be below standard, further analysis must be conducted to confirm the structure's safety. The tests for material characteristics are usually non–destructive, but sometimes cores and samples must be taken with some local destruction.

3.2.1 Measuring Dimensions and Checking Tolerances

3.2.1.1 Description of Techniques

Measurements must be accurate and must represent all structural characteristics of the element. For example, indentations in columns, openings in bearing walls, cracks that act as expansion joints, settlements of supporting columnmns, and alterations to the original geometry must be recorded.

The lateral support for walls also needs to be examined. Special attention should be given to the description of the top and bottom boundary conditions for walls and columns. These boundary conditions may be difficult to assess as fixed connections may rotate, hinges may become partially fixed, free ends of walls at expansion joints may become filled with debris and mortar droppings, and so on.

Elements of columns must be examined, including the condition of anchor bolts and base plates to determine if they are loose, missing, or corroded. Other elements to be checked are the effectiveness of bracing and the condition of the concrete, including capitals and drop panels.

Where accessibility is a problem, localized demolition may be necessary to uncover the materials.

3.2.1.2 Equipment

In addition, to the equipment listed in Section 3.1.2 for the Expert Walkthrough Analysis, the following tools are needed: scaffolds, swing stage, 2 m ladders, mason hammers, surveying equipment with level rods, mason levels and common hand tools such as pliers and screw–drivers.

Although electronic instruments are frequently a convenience and in some cases a must, they are not always needed. The most frequently used electronic instruments are a metal detector and fiber scope. The most critical element in a thorough investigaton is the experience and awareness of the investigator.

3.2.1.3 Detailed Procedure

The first step in the analysis is to carefully check all measured geometrical dimensions against tolerances permitted by the applicable code. The specific standards for concrete, masonry, wood and steel recommended by the NBC are listed in References 5–22.

Tolerances for dimensions, alignments, offsets and verticality in concrete columns and walls should comply with Section 10 of CAN3–A23.1–M77, **Concrete Materials and Methods of Concrete Construction**. (See Reference 6.)

Steel columns and other elements such as shelf angles, sash angles, angles and lintels should be positioned within tolerances indicated in Section 28.7 of CAN3–S16.1–M84, **Steel Structures for Buildings**. (See Reference 8.)

Tolerances for wood elements are found in Reference 10, CAN3–O86–M84, **Engineering Design in Wood**.

Tolerances for masonry walls should comply with Section 4.3 of CAN3–A371–M84, **Masonry Construction for Buildings**. (See Reference 21.)

Deviations from levels, grades, building lines, cross sections, joint thicknesses and plumbs should be investigated.

3.2.1.4 Resource Allocation and Timing

A three–person investigating team will require approximately one to two weeks for the full Stage II analysis described in this section.

3.2.1.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Clear and complete records should be produced during the inspection. All the inspected areas must be identified, indicating floor level and location.

3.2.2 **Determining Material Properties**

3.2.2.1 Description of Techniques

In this procedure, samples of wood, steel, concrete and masonry are removed from the building and taken to a laboratory for laboratory analysis in compliance with standard tests. In particular, samples must be taken if the material is unidentified or degraded.

Most construction materials can be tested and certified according to procedures established by the Canadian Standards Association or by another acceptable institution such as the American Society for Testing and Materials. The testing procedures are well documented in the standards listed in References 3 to 27.

The following CSA standards are particularly important:

Standards Tests for Concrete

Concrete testing should be done in accordance with the requirements of CSA A283, **Qualification Code for Concrete Testing Laboratories**, and the following test methods in CAN3–A23.2–M77, **Methods of Test for Concrete**: Flexural Stength of Concrete (8C),

Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (9C),

Water Absorption of Concrete (10C), and Obtaining and Testing Drilled Cores for Compressive Strength Testing (14C). (See References 6, 7.)

Standard Tests for Steel

Unidentified steels must be assessed in accordance to **General Requirements for Rolled or Welded Structural Steel**. (See Reference 9.) Key mechanical properties to be determined are yield stress, ultimate strength and percent elongation.

Standard Tests for Masonry

Masonry must comply with CAN3–S304–M84, **Masonry Design for Buildings**. (See Reference 11.) Other important standards are CAN3–A369.1–M84 **Method of Test for Compressive Strength of Masonry Prisms**; CAN3–A82.2–M78, **Methods of Sampling and Testing Brick**; CSA A179–M, **Mortar and Grout for Unit Masonry**; CAN3–A165.1–M85, **Concrete Masonry Units**; CAN3–A165.2–M85, **Concrete Brick Masonry Units**"; and CAN3–A370–M84, "**Connectors for Masonry**.

Standard Tests for Wood

Wood that is not rotten or deteriorated usually does not present problems. Softwood complying with CSA 0141–1970 can be readily accepted. Direct inspection of wooden members can be carried out with a thin bore sampling tube but even a putty knife or nail can be helpful. Ultrasonic pulse methods may help in certain cases (see 3.5.1.3, Ultrasonic Tests).

3.2.2.2 Equipment

A diamond drill for up to 100 mm diameter cores, boxes for shipping the samples, and forms for sample recording are needed for obtaining concrete samples. For masonry, a masons hammer and chisel are required. A cutting torch or steel drill for coring is needed for steel sampling. A wood saw or drill with a saw bit can be used for wood sampling. A man lift or window washing scaffolding may also be necessary for reaching exterior components on upper storeys.

3.2.2.3 Assessment

Once the material properties are reasonably known through laboratory tests, strength and deflection calculations can be made.

3.2.2.4 Resource Allocation and Timing

Approximately one week will be required to gather samples from a building exhibiting major wall and column distress. If concrete coring or cutting steel coupons are needed, a contractor would have to be hired. Testing of samples must be done in a laboratory.

3.2.2.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

When tests have been requested by the investigator, the report must indicate origin, condition, manner of sampling, and any other important observations. The reports should also include all the calculations.

3.2.3 Inspecting Walls

Well–built walls usually perform well. In assessing their performance, faults in design and contruction must be uncovered.

3.2.3.1 Description of Techniques

The investigator should begin the survey by making tracings or prints of the building drawings to take to the job site. During the investigation the location of all failures

should be indicated on the drawings. The drawings should also show the location of all control and expansion joints. To be sure of detecting all the problems, the investigator should use a checklist, either based on the list of potential faults described under each of the three wall types, masonry, precast cladding, and stone veneer and metal stud back-ups or on a designer's guide, such as the one provided in Reference 29. (See Reference 26 for specific information on exterior masonry walls in high-rise construction.)

3.2.3.2 Equipment

To inspect the several types of masonry walls, a mason's hammer and chisel, flashlight, and basic handtools are required. A covermeter and fibroscope will be needed in cases where a more thorough assessment is indicated. A swing stage or scaffolding may be required to examine the walls on upper storeys.

A fibroscope, or a "fibre optic probe", is a portable easy-to-use instrument used to inspect areas hidden to the naked eye, such as masonry anchors and ties. Based on the principle of fibre optics, this instrument permits light conduction through glass fibres possessing a high refracting index. A commerical fibroscope consists of an eyepiece, a flexible metal tube containing the fibres, and a light source. Options include tubes up to 3 m long, plus camera and television attachments. A small brush should be used to remove dust.

After a covermeter is used to locate a metal tie or anchor, a 10 mm diameter hole is drilled through the mortar joint and into the cavity. The end of the tube is pushed through the hole and directed to the spot. As the minimum turning diameter is about 75 mm, a slanting hole will have to be drilled or a brick removed so that the tube can be put into position.

Some practice in using a fibroscope may be required because the "fish eye" lens distorts the image. The inspector should practice looking at small objects in different positions, such as paper clips in desk drawers or coins in his shirt pocket. The image may appear upside-down or be rotated at an angle when the tube is twisted or bent.

3.2.3.3 Assessment

a) Masonry Walls

The description of problems usually affecting masonry walls is facilitated by the illustrations of Figures 3.2.1 to 3.2.21. Although they refer mainly to masonry cavity walls and veneer walls with structural frame back-up, other forms of masonry walls can be affected basically by the same type of problems.

i) Cracks, Deterioratated Joints and Spalled, Loose or Dislodged Bricks

Cracks may be toothed, straight or diagonal, as shown in Figure 3.2.12. In brick veneer, cracks may be caused by the following conditions:

- outward bending of the brick wall above the damp-proof course (Figure 3.2.12),
- expansion at a jog in the wall (Figure 3.2.11),
- foundation upheaval (Figure 3.2.13),
- roof movement (Figure 3.2.14 and 3.2.15),

- differential movement between the masonry wall and the concrete foundation (Figure 3.2.16),
- oversailing of parapet (Figure 3.2.17), (unduly cantilevered)
- restrained expansion in the wall (Figure 3.2.18),
- expansion at a corner (Figure 3.2.19).

Cracks in load-bearing masonry walls have several causes:

- differential movement when both brick and block are used (Figure 3.2.20),
- inadequate spacing of reinforcement,
- stress concentration at openings and jogs.

Cracks in non-load bearing interior partitions have different causes:

- excessive floor deflections (Figure 3.2.12.d),
- lack of provision for block shrinkage (Figure 3.2.21),
- uplift on roof due to wind suction or thermal expansion of roof if partition spans vertically instead of horizontally (Figure 3.2.21).

The investigator should distinguish between active and inactive cracks. Photographs from previous investigations can be used to compare the problem areas over time and tell-tales can be used to monitor the movement of important cracks, as shown in Figure 3.2.22.

Deteriorated joints in masonry are usually due to one of the following causes:

- incompatibility of masonry units and the mortar due to the balance between the suction rate of the unit and the water retention of the mortar. Adherence to CSA Standards ensures reasonable compatibility.
- improper tooling. All mortar joints on exterior walls should be concave or V-shaped, but raked joints should not be used. Different types of mortar joint styles are shown in Figure 3.2.23.
- lack of maintenance work such as periodic repointing.
- moisture channels eroding mortar joints prematurely.

ii) Missing Reinforcement

Concrete block wall reinforcement consists of either ladder or truss-type reinforcement in the joints and/or vertical bars in grouted cores. The presence of reinforcement can be determined with a magnetic device, preferably a covermeter.

Any areas missing reinforcement should be indicted on the drawings.

For velocity related seismic zones 2 and higher, the presence of reinforcement in non-load bearing walls must be verified to ensure compliance of clause 4.1.9.3(5) of the 1985 NBC. The presence of

reinforcement can be determined with a magnetic device like a covermeter, while the determination of the amount of steel may require some bricks be removed.

Other requirements for the investigator to consider are given in Clause 5.8.2 of CAN3–S304, Nonload Bearing Walls.

iii) Flashing Deficiencies

Common deficiencies in masonry flashing include:

- flashing not specified on drawings,
- missing flashing,
- missing reglet (See Figure 3.2.1),
- damaged flashing,
- punctured flashing above the shelf angle which drains into a closed space, leading to ice build–up dislodging the bricks (See Figure 3.2.2),
- problems at columns and corners (See Figure 3.2.3).

All areas where these problems are observed should be indicated on the drawings.

iv) Weep Holes

Common deficiencies in weep holes are shown in Figure 3.2.4. These deficiencies include:

- weep holes blocked,
- no weep holes,
- weep holes too far apart (600 mm maximum),
- weep holes too small.

Inoperatve weep holes may cause a line of damp masonry at each floor level, or dislodge bricks caused by water freezing in the cavity. Problems with weep holes should be reported.

v) Cavity Obstructed by Insulation

Rigid insulation should be tightly secured to the inner wythe of frame wall, leaving an air space of at least 25 mm. If the adhesive fails, the insulation will be loose as shown in Figure 3.2.3. This condition can only be checked by removing bricks.

vi) Exterior Drainage

Rain or melting snow should not drain onto the brickwork. Caps and cooling should slope towards the roof. Overlaps on the parapet cap should be at least 75 mm to ensure that rain cannot blow up under the cap. Coping, sills and ledges should be provided with drips. Stone, concrete or metal sills should have upstands at the ends to prevent water flowing laterally into the wall. Figures 3.2.5, 3.2.6, and 3.2.7 show examples of good drainage details.

vii) Misaligned Slab Edges

Edges of successive floor slabs should line up within about 6 mm, as shown in Figure 3.2.4. Misalignment of floor slabs can lead to narrowing of the cavity, making the placement of flashing difficult and leading to poorly installed insulation and blocked weep holes.

viii) Inadequate Bearings

If the foundation wall is out of alignment with the exterior wall, bricks may not have an adequate bearing surface (Figure 3.2.8). A maximum of 30 mm is allowed to be cantilevered over the foundation.

ix) Missing Ties

Ties may be missing or unevenly spaced. In some cases whole panels may be untied. The covermeter can be used to detect the presence of metal ties.

x) Control Joints

In long straight walls, control joints should be spaced no more than 12 to 15 metres apart for brick and 10 metres apart for concrete block facings.

Control joints should also be used at corners, as shown in Figure 3.2.24. The two sides of the control joint should be laterally supported with flexible ties, as illustrated in Figure 3.2.25.

Typical joint fillers are shown in Figure 3.2.26. Generally they consist of a compressible back–up covered with a flexible sealant. The filler and sealant must have enough compression capacity to accommodate movement of the masonry into the joint and also be able to rebound when the movement reverses.

All expansion joints must be closed to keep out precipitation.

Control joint location should be specified on the construction drawings. Sometimes these joints have been inadvertently filled with mortar. This condition can be checked using a penknife. The condition of the sealant in the control joint should also be checked.

xi) Shelf Angles

Shelf angles, as shown in Figure 3.2.9, should support the brick at each storey. The expansion gap below the angle should be open or filled with a flexible joint sealant; and the joint at the toe of the angle should be pointed with a flexible joint sealant and not with mortar. The height of the gap below the angle should be approximately 3 to 6 mm and should be checked using a penknife.

The ties should be as close as possible to each other above and below the shelf angle. As illustrated in Figure 3.2.10, if the ties are two courses of block away on either side of the shelf angle and if no movement gap is provided at the shelf angle, the brick facing wythe may buckle unless a movement joint exists. Ties can be located with a covermeter.

xii) Anchorage of Parapet

The blocks of the parapet must be anchored into the roof slab, as illustrated in Figure 3.2.6. The covermeter can be used to check the presence of vertical reinforcement.

b) Precast Cladding and Stone Veneer Walls

The most frequent problem with precast cladding and stone veneer is corrosion of the anchors that tie the wall to the structure. Typical anchor details for precast cladding are shown in Figure 3.2.27 and for various types of stone cladding in Figure 3.2.28.

If wall units have fallen off or if corrosion of the anchors is suspected, several of the units should be removed so that the anchor can be inspected. A pull-out test on several anchors should be conducted if their condition is suspected of being inadequate.

If the anchors are accessible without removing the wall units, a fibroscope may be inserted behind the units to detect corrosion of the anchors.

c) Brick Veneer Wall Systems with Steel Stud Back-up

Brick veneer wall systems consist of an exterior wythe of brick isolated from the back-up by an air space and attached to the back-up with metal ties. They are commonly used in low, medium and high-rise buildings. Because the veneered wall and the back-up are only bonded with ties, the two walls react separately under load. Numerous back-up materials including masonry, concrete, wood, and steel studs are used.

In multi-storey buildings, steel stud back-up systems with brick veneer have been the subject of significant controversy. While steel stud manufacturers claim they have conducted research proving that the system is adequate, detractors complain that this system is too flexible, allowing cracks to form in the mortar joints. Wind-driven rain may enter through these cracks and cause corrosion of the metal ties.

The inspector assessing the performance of brick veneer systems should examine all potential sources of failure: poor workmanship, water leaks, bent and corroded ties, cracks in the mortar, quality of mortar especially in regards to its water permeability, excessive flexibility of the wall, exposure to prevailing winds considering the pressure of other buildings nearby, studs with missing or improperly placed screws, mortar droppings that bridge moisture or block weep holes, poor flashings, insufficient studs at windows where double or stronger studs are recommended, and under-designed studs.

Of all these causes of failure, corrosion of the ties is the most important. Ties can be located using a covermeter and a fibroscope can be used to inspect their condition. If corrosion is evident, particularly at the threaded connection to the stud, bricks should be removed to allow a more thorough inspection of the wall.

3.2.3.4 Resource Allocation and Timing

It may take a week for a team of two to investigate the walls of a 10,000 m² multi-storey building.

3.2.3.5 Documentation: Creation and Retention of Working Papers

Full records of the investigation must be kept. A report with the labelled inspection drawings, the findings and an analysis of the results should follow the inspection.

3.3 STAGE III - SPECIALIZED IN-DEPTH MONITORING

When the severity or extent of the problem justifies it, tests requiring complex instrumentation can be used. These tests call for special equipment plus considerable effort and preparation. Complex testing for walls and columns is not seldom needed.

When the walls, columns, or other structural elements have been damaged, a special investigation is needed to assess the general stability of the building. This method consists of assessing the actual strength of the materials, of measuring the dimensions of the structural elements, of recalculating the safety and strength of the building using the new values and, in extreme cases, performing full or partial loading tests of the structure.

3.3.1 Non-destructive Tests

Non-destructive tests are undertaken with the purpose of assessing the real properties of construction materials. These tests include:

- approximate determination of in-situ material strength,
- location of non-homogeneity in materials, such as honeycombs in concrete, cracks in steel, and areas of rot in wood,
- approximate determination of material deterioration, such as cracking or chemical degradation,
- location of steel bars.

Non-destructive test methods are described in document D31 of the Building Performance Evaluation series called Structural Slabs and Roofs: Condition Survey. Here is a summary of some of these tests.

3.3.1.1 Schmidt Rebound Hammer Test

This is a surface hardness test which provides approximate values for the strength of concrete, based on a correlation between the strength and the rebound value of the hammer. It is not accurate enough to determine strength values for evaluating member capacity, but because it is inexpensive it is useful for comparing the relative strength of concrete in different areas of the building. (See Ref. 2 Section 3.3.2).

3.3.1.2 Windsor Probe Test

Like the Schmidt Rebound Hammer, the Windsor probe tests for hardness and is used to establish approximate values of concrete strength or to determine problem areas. In this test, a powder-activated projectile is driven into the concrete and its depth of penetration is measured and correlated to the strength of the concrete. Details on this test are available in Chapter 3 of Testing Hardened Concrete: Non-destructive Methods, (Ref. 27).

3.3.1.3 Ultrasonic Tests

Ultrasonic tests can approximately determine certain material properties, including: homogeneity of concrete and timber; presence of voids, cracks and honeycombs in concrete; changes due to fire, frost or chemical attack; the strength of concrete; and the thickness of slabs. These tests are usually conducted with a PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester) which measures the transmission time for a pulse to travel through the material.

Other tests are performed with an electronic caliper to measure the thickness of steel plates.

3.3.1.4 Covermeter or Pachometer Test

This device is used to verify the amount of concrete cover over steel reinforcement. It can also be used to avoid cutting reinforcement when coring through concrete as well as for locating ladder or truss reinforcing in block walls and in masonry ties and anchors.

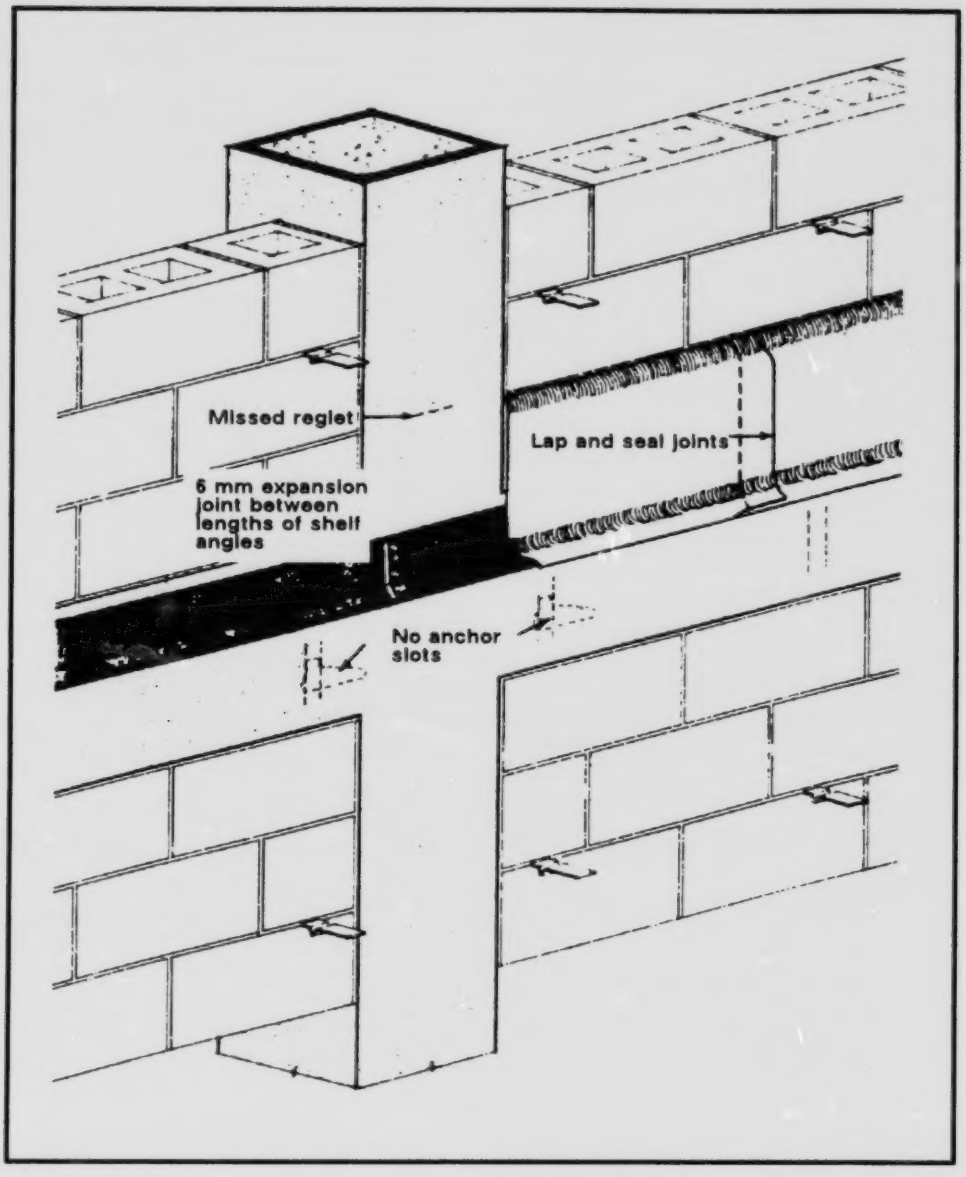


Figure 3.2.1 Column Showing Missed Reglet for Flashing

- The missed reglet often leads to a gap in the flashing
- The missed anchors leave a vertical distance of up to 120 mm without an anchor.

Courtesy of CMHC

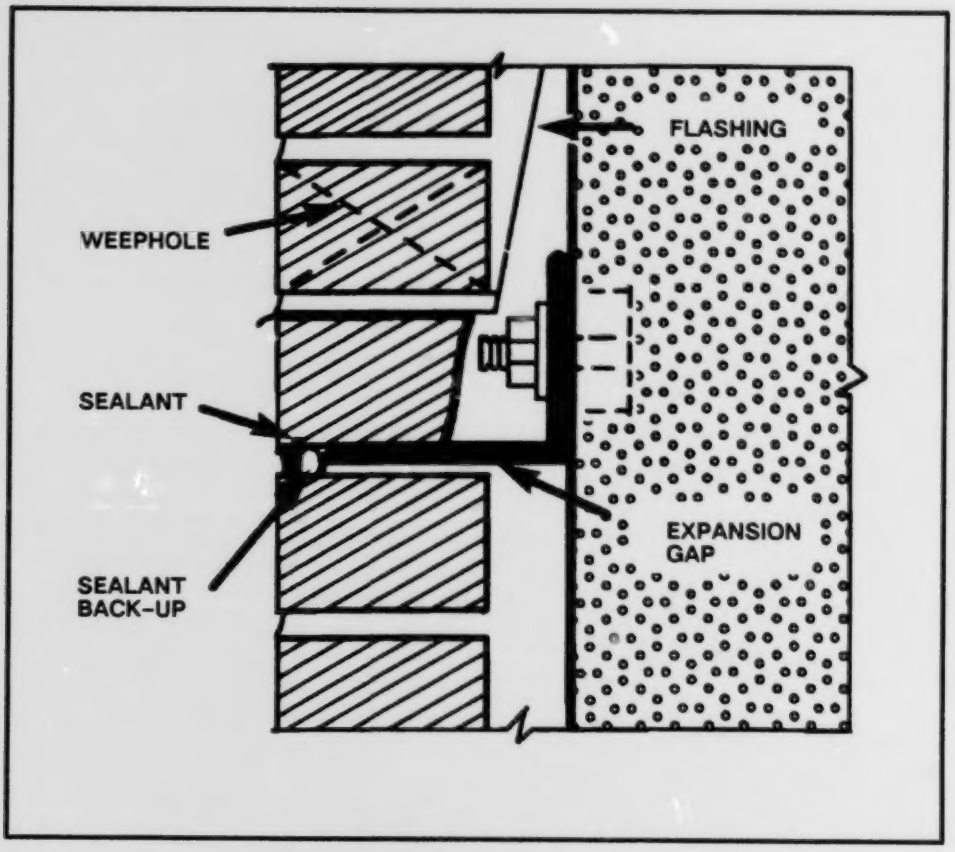


Figure 3.2.2 Flashing Detail at Shelf Angle

Flashing raised above shelf angle to avoid bolt interference.

Courtesy of CMHC

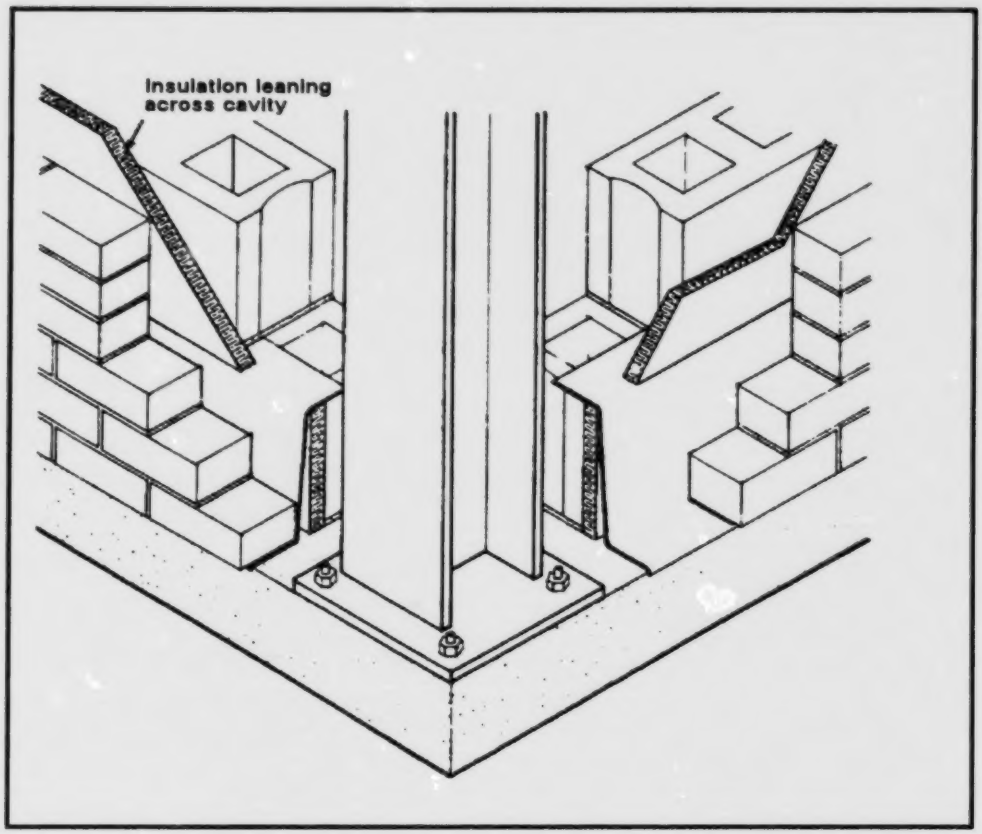


Figure 3.2.3 Flashing Details at a Column

It is easily visualized how leakage occurs where details like this are encountered.

It will be difficult to:

- flash around the column
- anchor the block
- obtain an air barrier
- maintain a cavity
- place the veneer
- maintain a continuous thermal barrier

Courtesy of CMHC

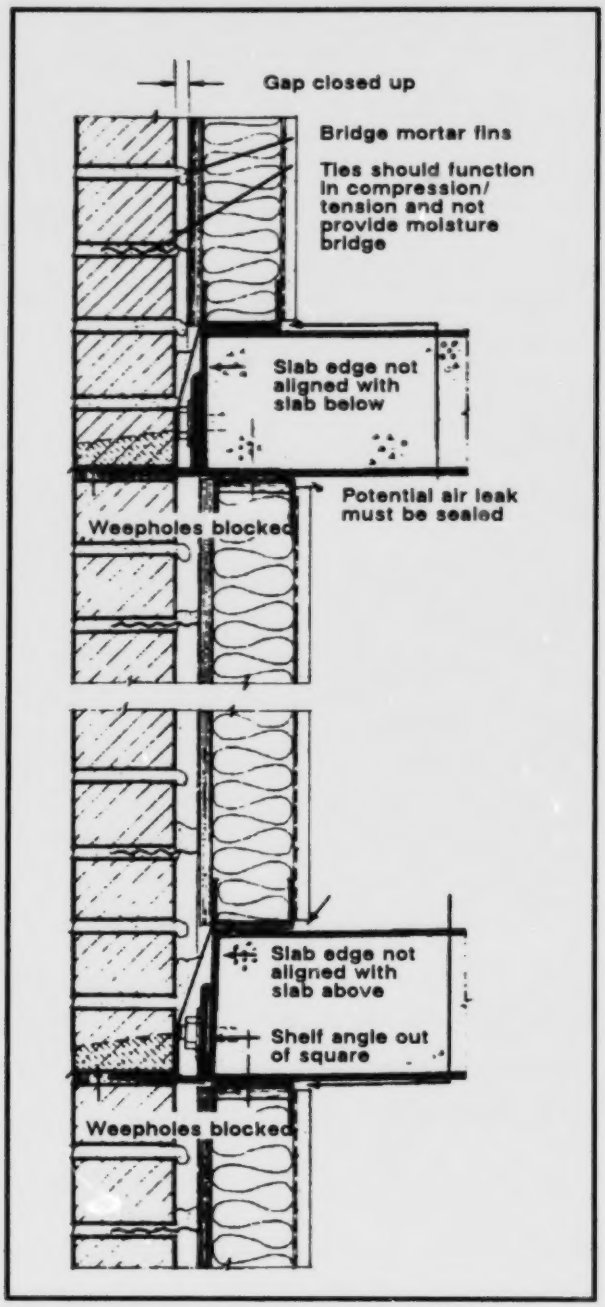

Gap closed up
Bridge mortar fins
Ties should function in compression/ tension and not provide moisture bridge
Slab edge not aligned with slab below
Potential air leak must be sealed
Weepholes blocked
Slab edge not aligned with slab above
Shelf angle out of square
Weepholes blocked

Figure 3.2.4 Weephole Deficiencies

Plugged weepholes and misaligned slab edges.

Courtesy of CMHC

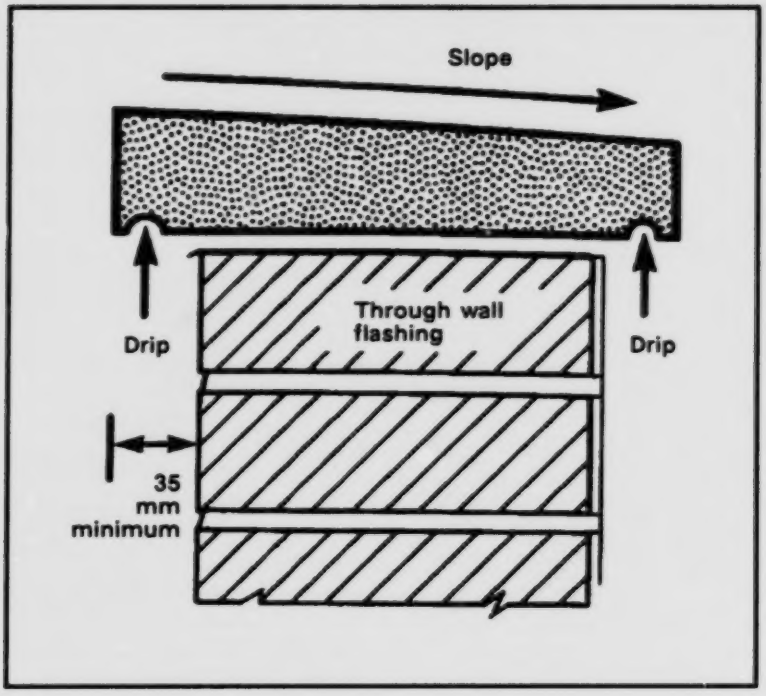


Figure 3.2.5 Parapet Cap Detail

Parapet flashing below pervious or segmental coping.

Courtesy of CMHC

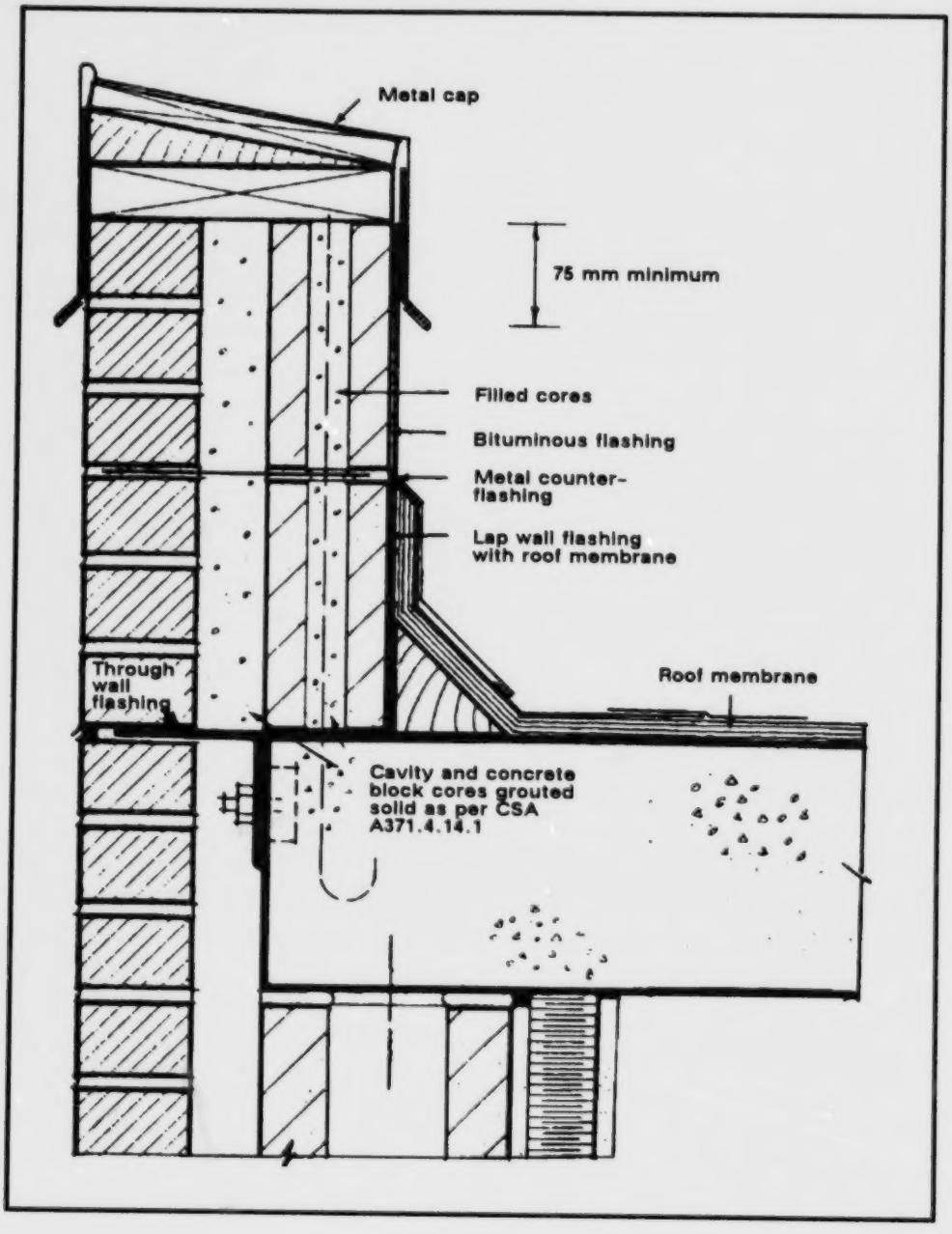


Figure 3.2.6 Parapet Flashing Details

Parapet flashing constructed of masonry of solid or filled hollow units.

Courtesy of CMHC

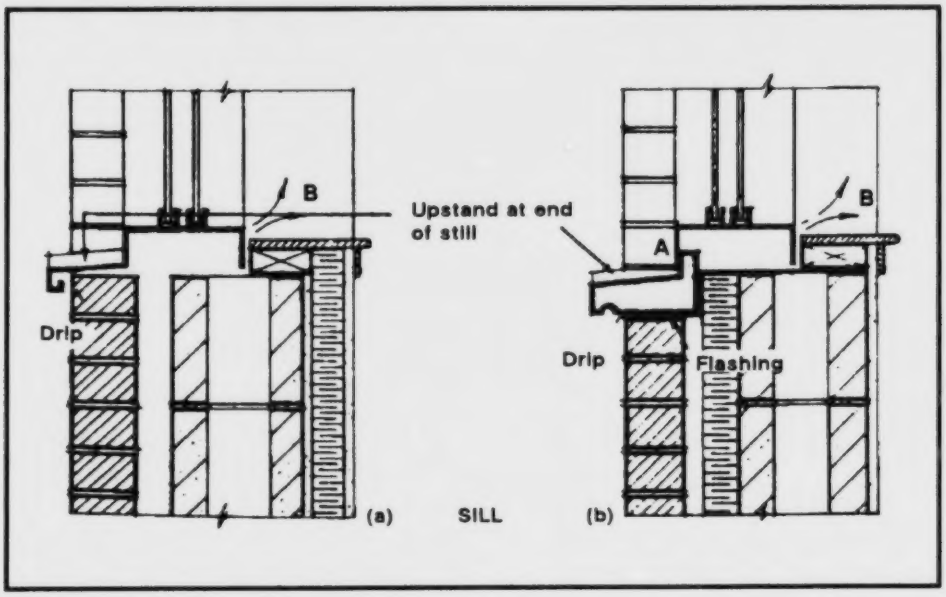


Figure 3.2.7 Window Sill Details

Air leakage at window to wall connection.

Courtesy of CMHC

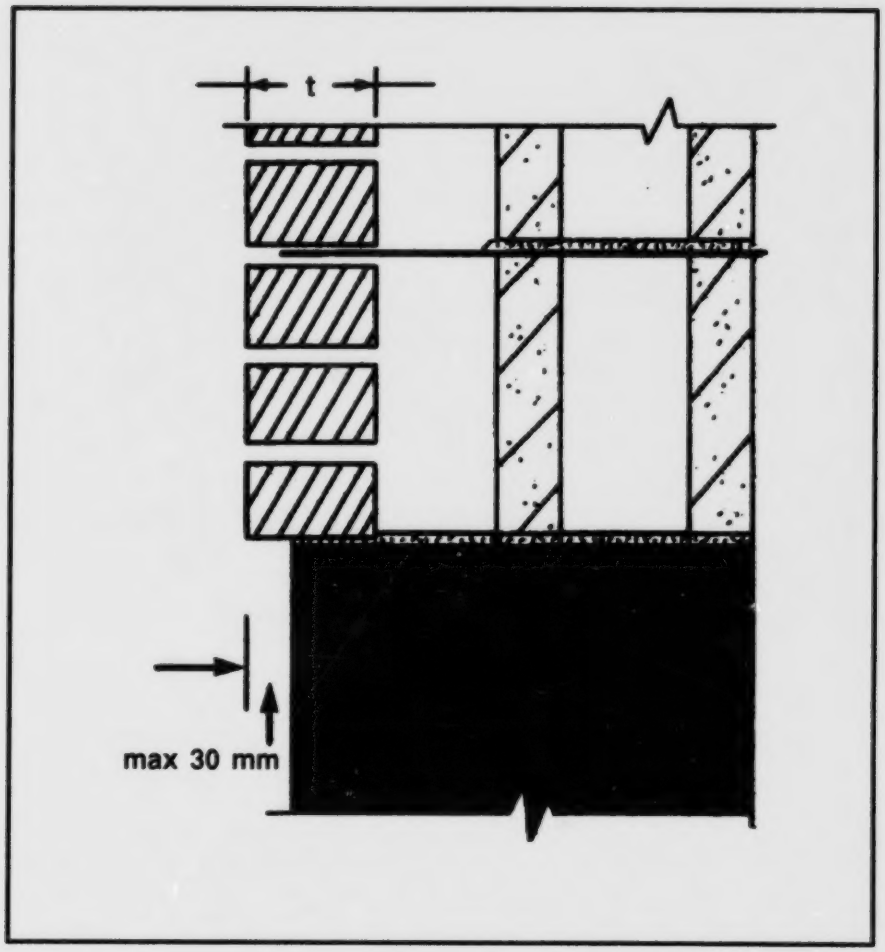


Figure 3.2.8 Example of Inadequate Bearing

Example of bearing for masonry veneer.

Courtesy of CMHC

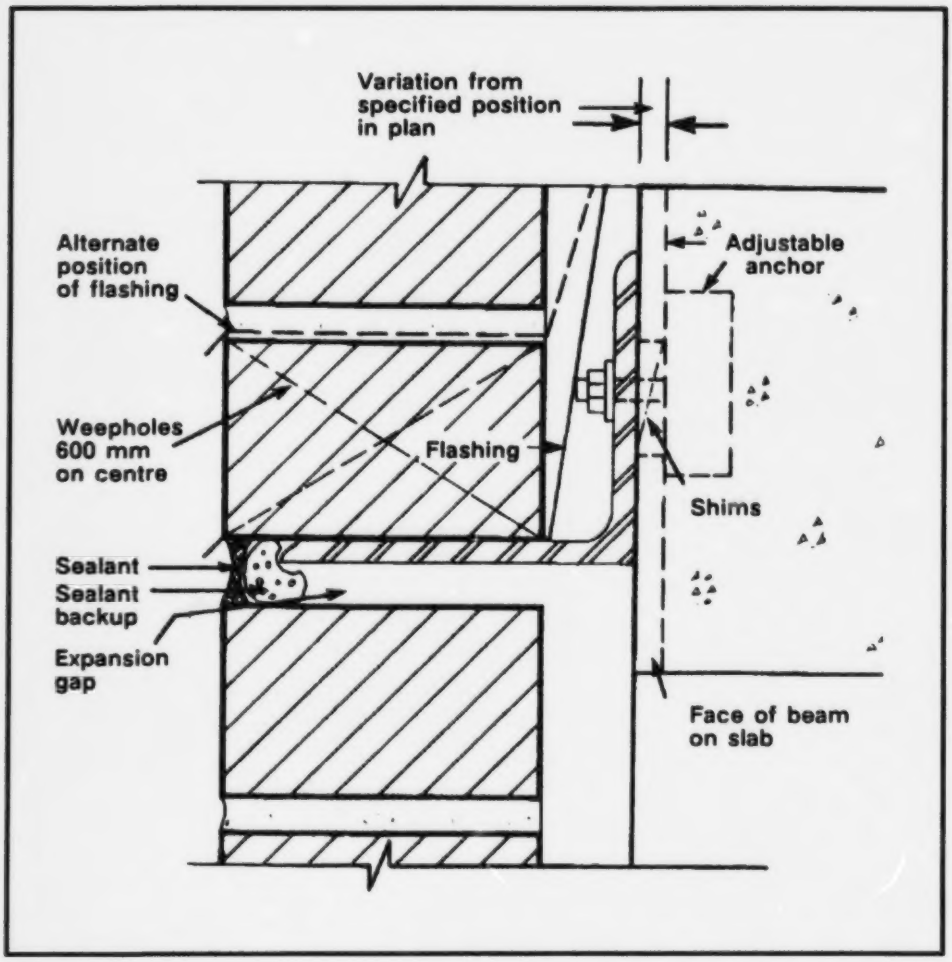


Figure 3.2.9 Detail of Joint at Shelf Angle

Detail of joint sealant and expansion gap at shelf angle.

Courtesy of CMHC

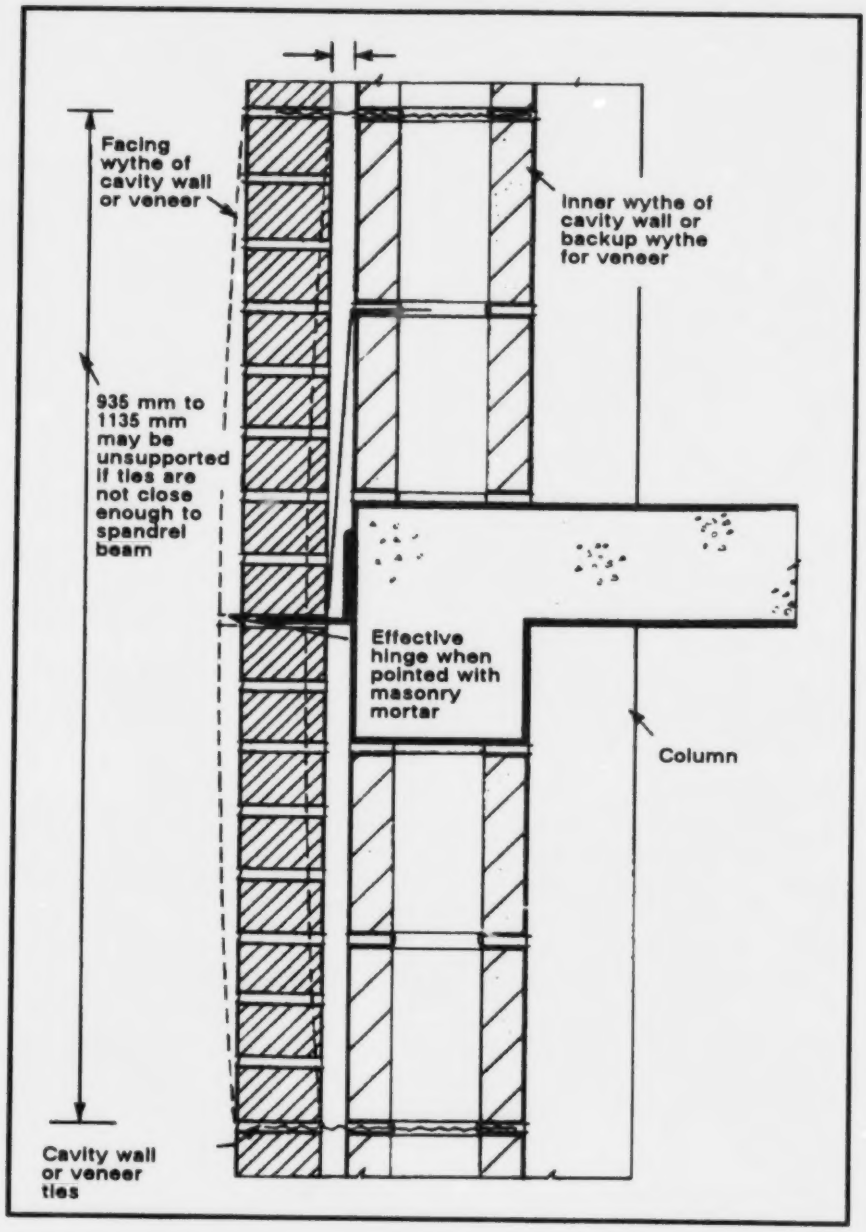

Facing wythe of cavity wall or veneer
Inner wythe of cavity wall or backup wythe for veneer
935 mm to 1135 mm may be unsupported if ties are not close enough to spandrel beam
Effective hinge when pointed with masonry mortar
Column
Cavity wall or veneer ties

Figure 3.2.10 Buckling Brick Vaneer

Typical cavity wall and veneer construction showing one manner of buckling if no movement in joint below shelf angle.

Courtesy of CMHC

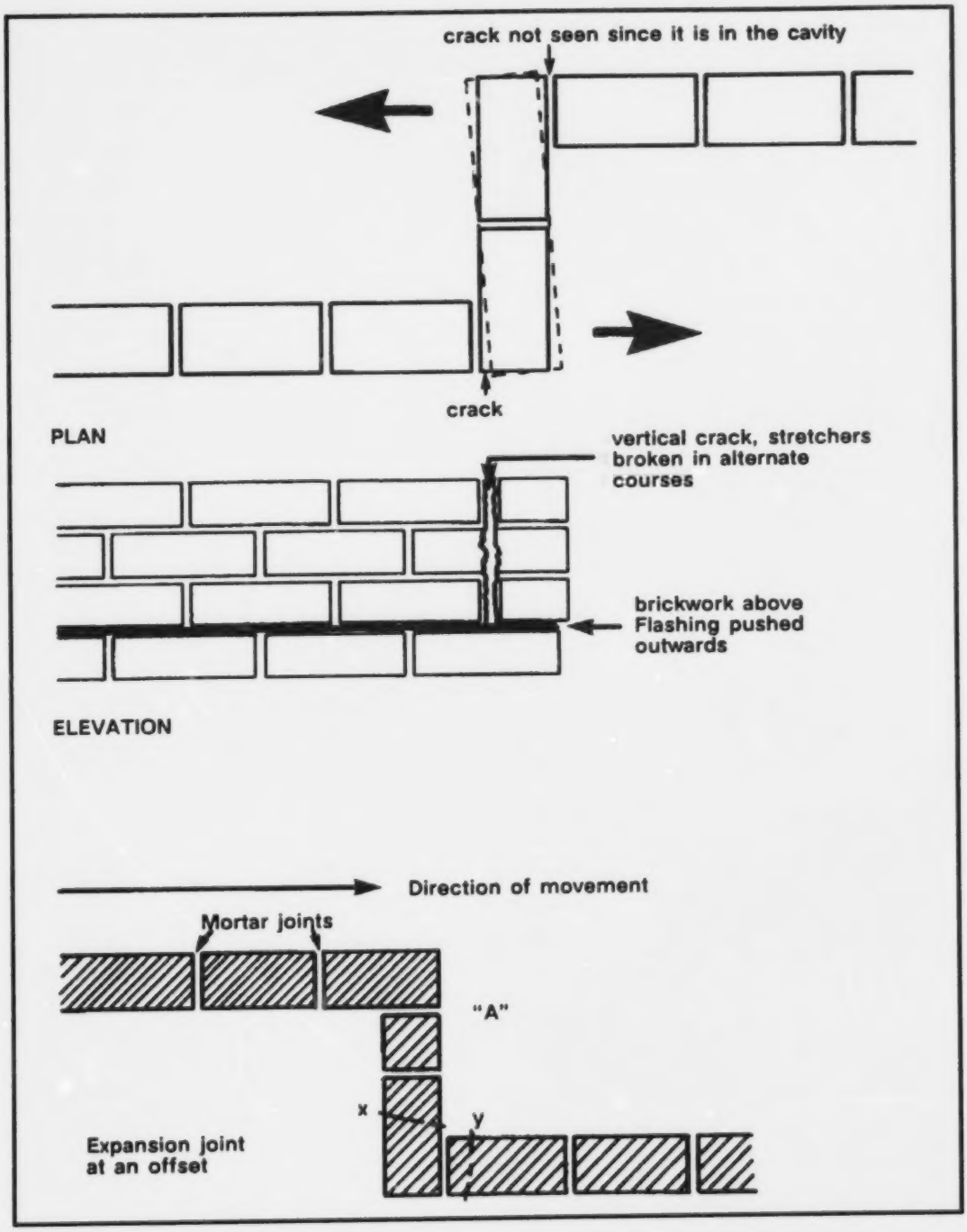


Figure 3.2.11 Bricks Cracked by Wall Expansion

Illustration of crack at corner.

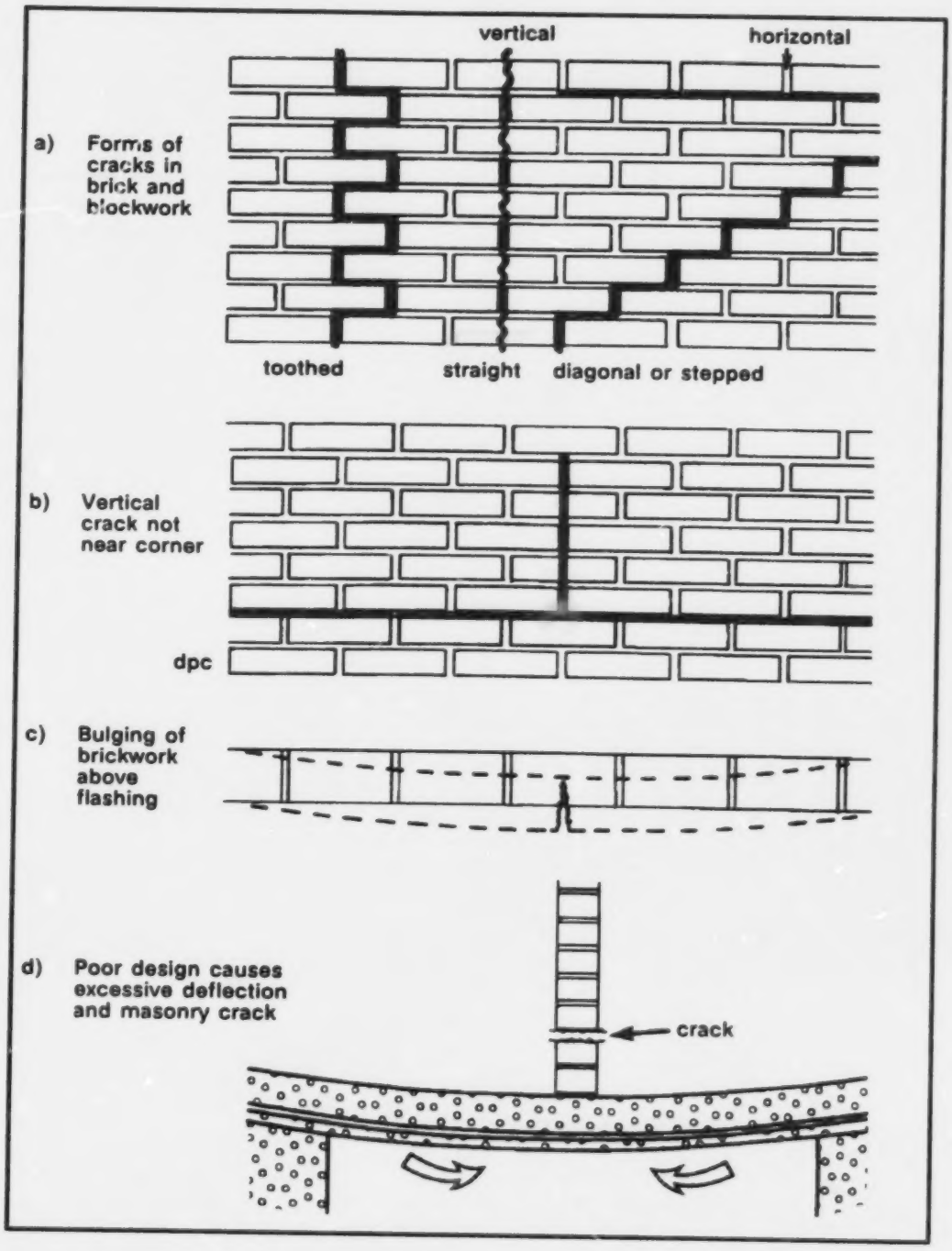


Figure 3.2.12 Types of Cracking in Masonry Walls

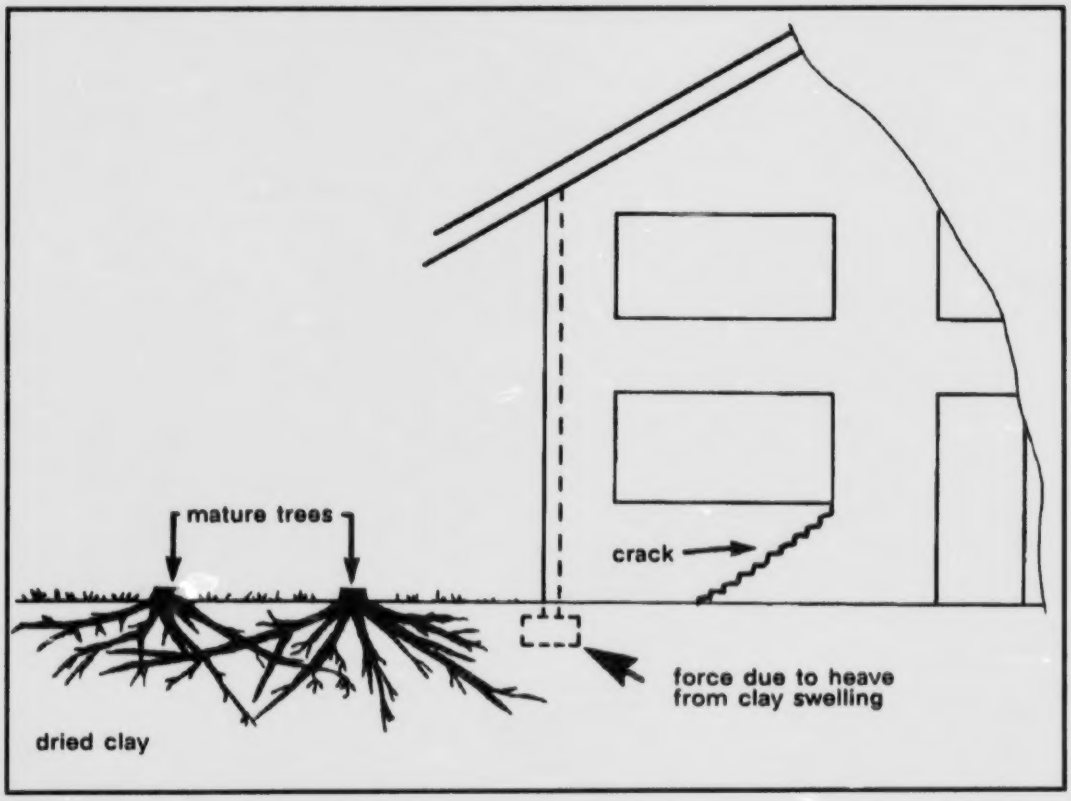


Figure 3.2.13 Cracking due to Dried Clay Swelling

Trees had kept the ground dry.

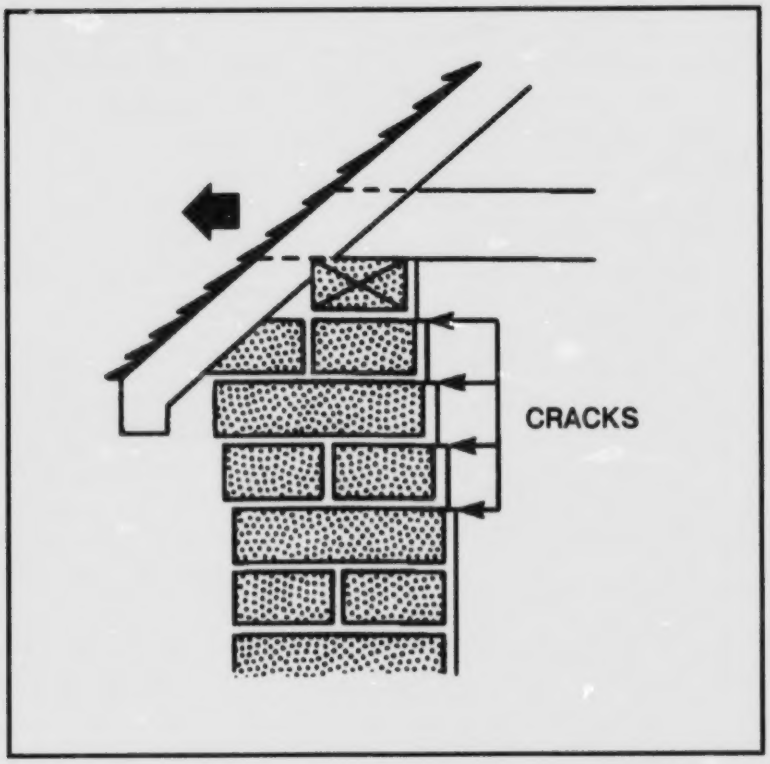


Figure 3.2.14 Effect of Outward Movement of Roof Joists (roof spreading)

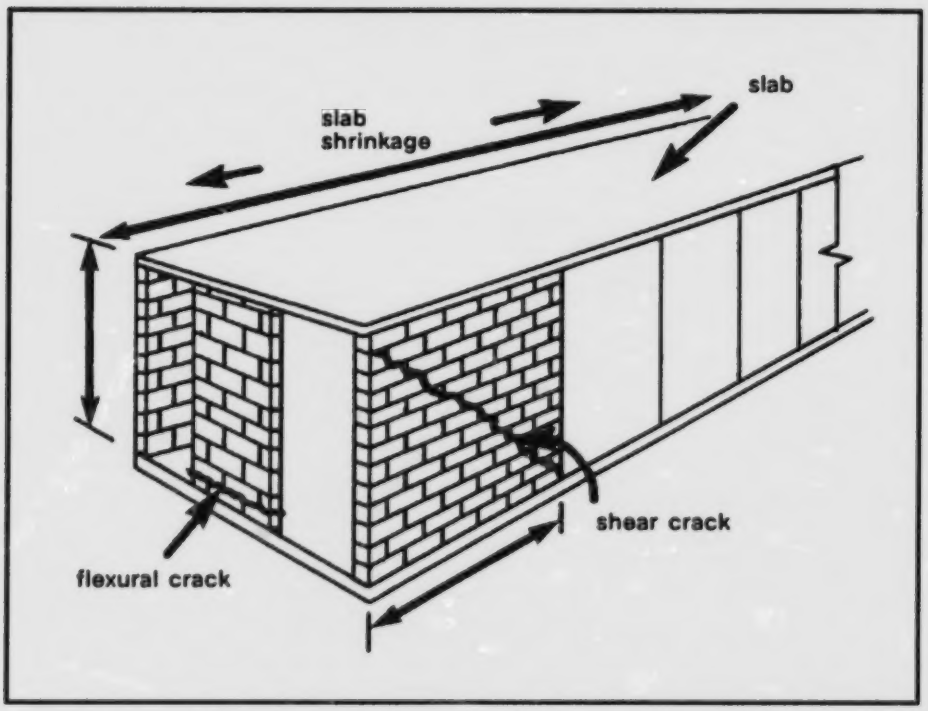


Figure 3.2.15 Shear or Flexure Cracks in Longitudinal Walls and Flexure in Transverse Walls

They are caused by shrinkage of concrete of slabs supported by brick bearing walls.

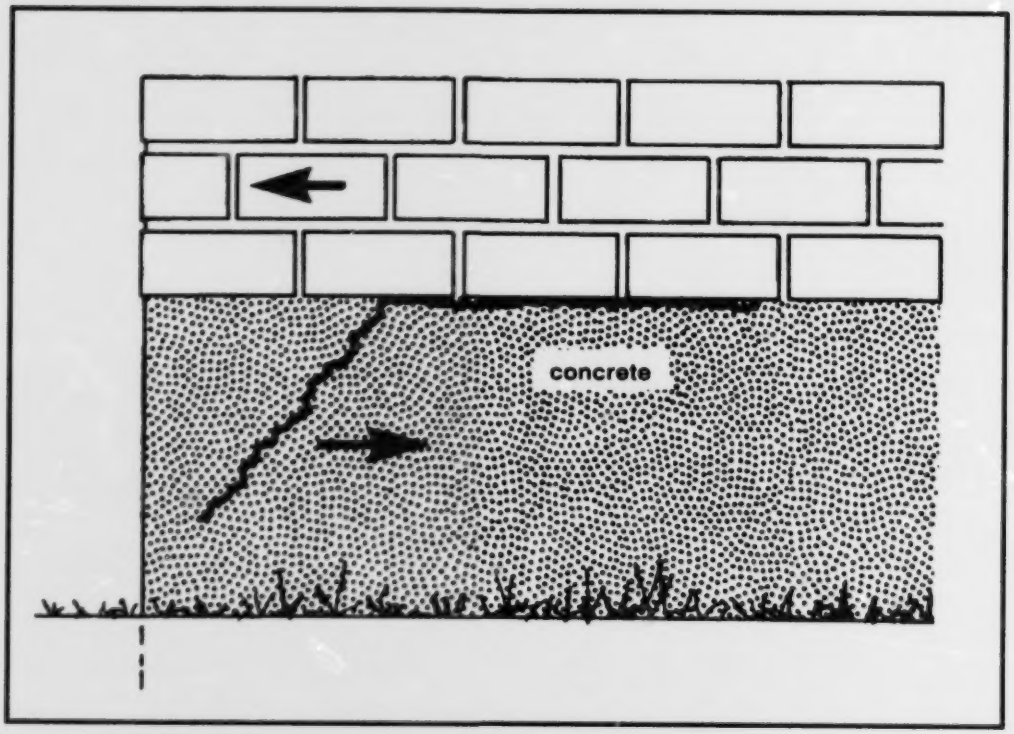


Figure 3.2.16 Cracks due to Excessive Movements between a Brick Masonry and a Supporting Concrete Foundation.

The concrete shrinks; and the masonry expands due to moisture.

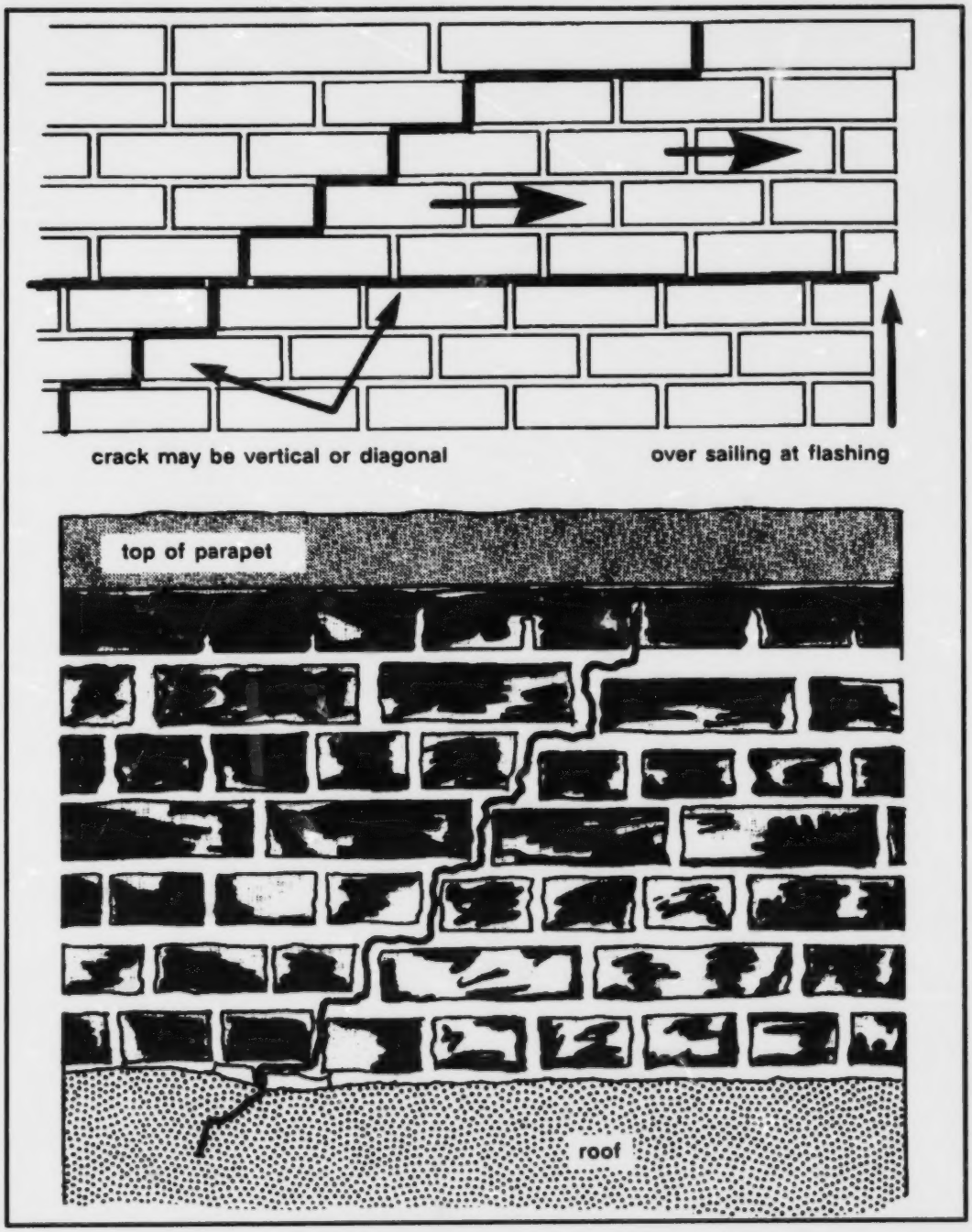


Figure 3.2.17 Parapet Damage

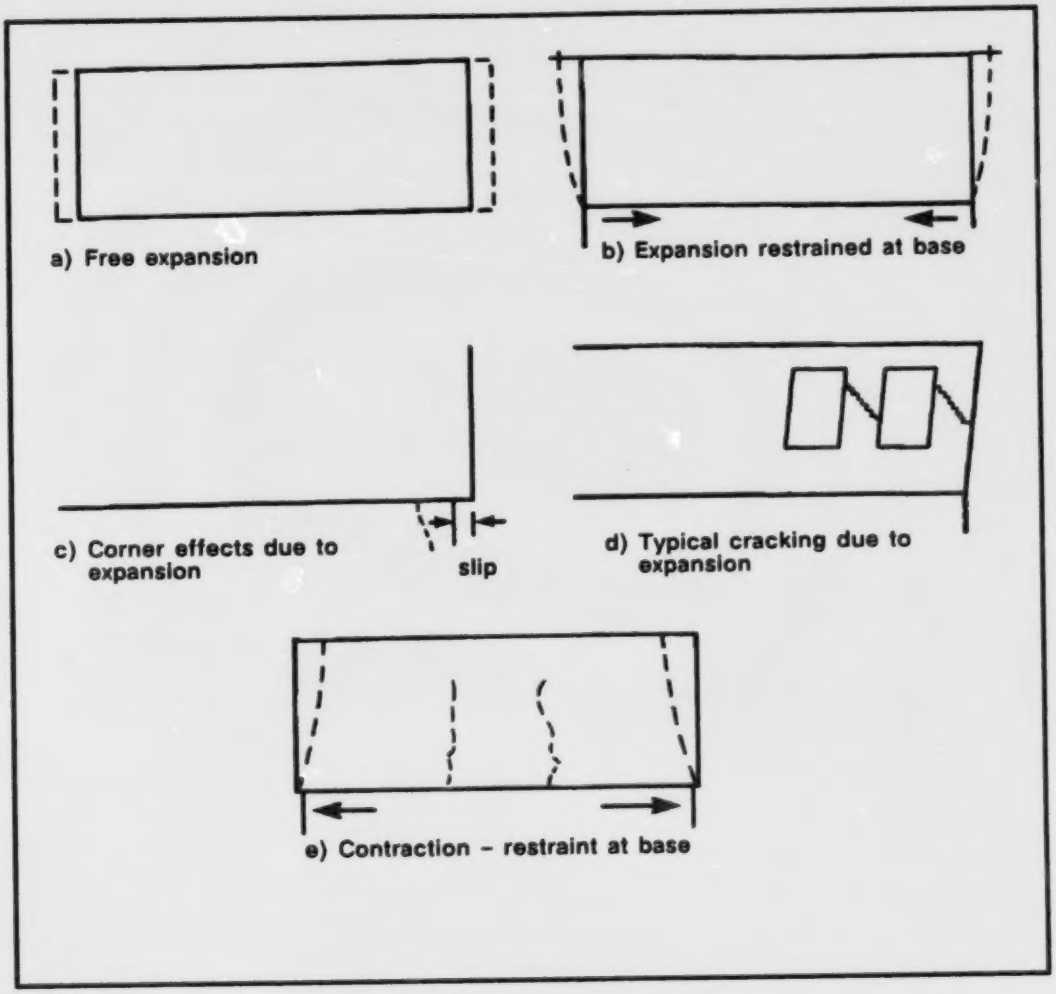

a) Free expansion
b) Expansion restrained at base
c) Corner effects due to expansion
slip
d) Typical cracking due to expansion
e) Contraction – restraint at base

Figure 3.2.18 Effects of Expansion and Contraction on Low Masonry Walls

Courtesy of CMHC

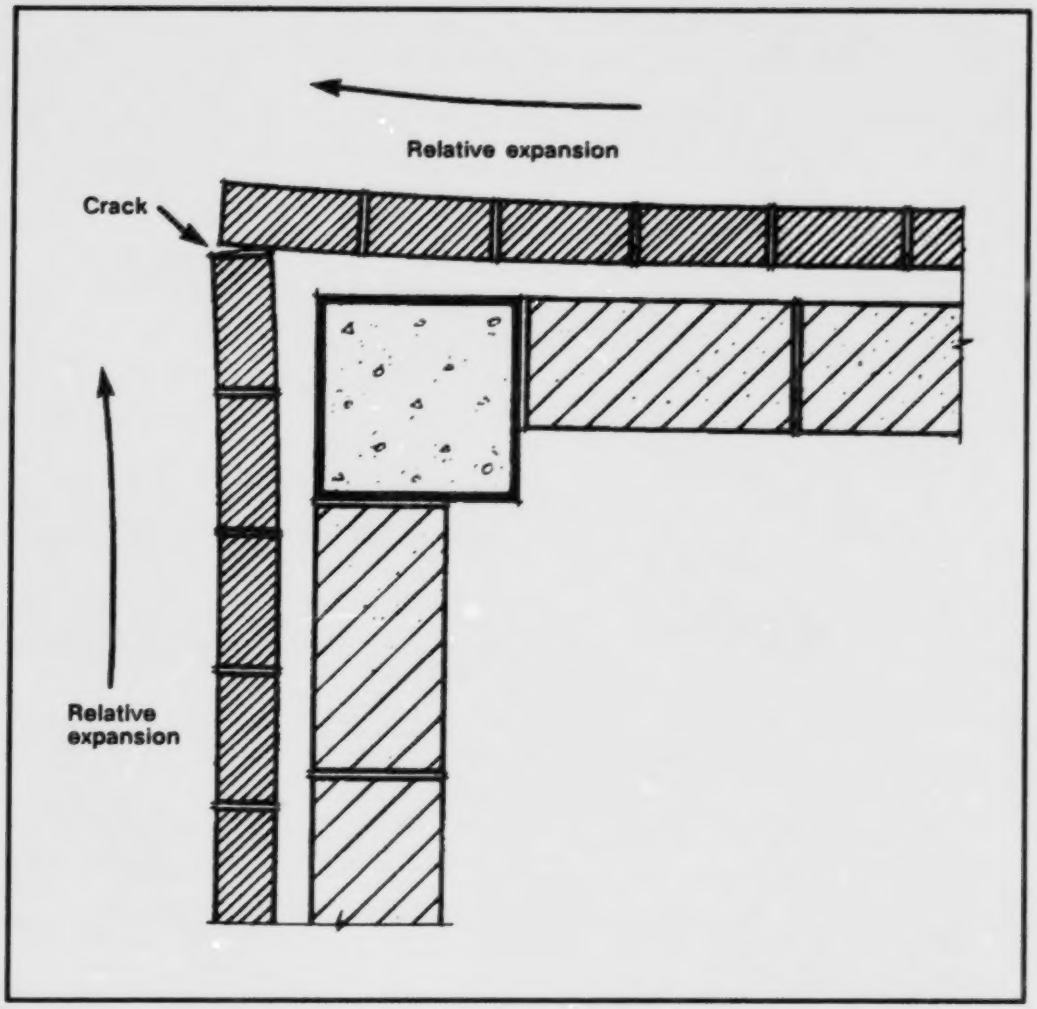


Figure 3.2.19 Expansion at a Corner

Courtesy of CMHC

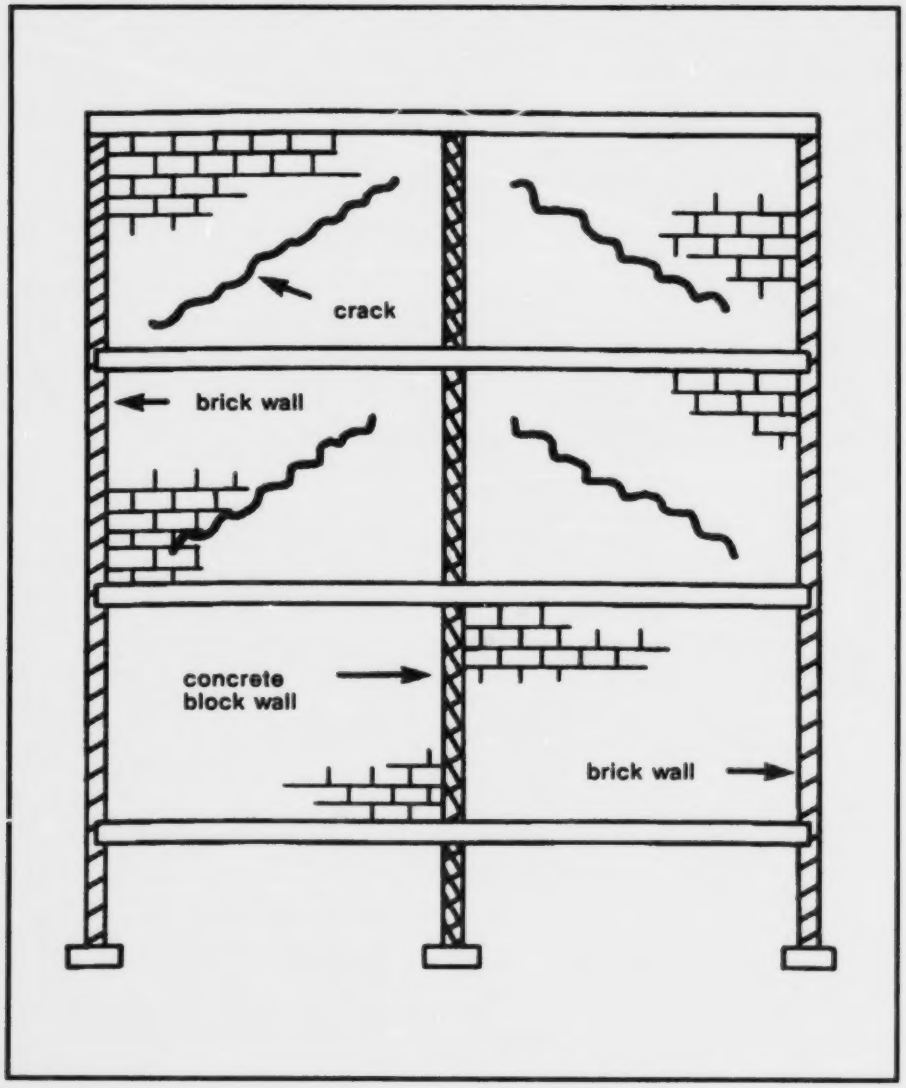


Figure 3.2.20 Shear Cracks in Transverse Walls

They are caused by differential movements due to brick and concrete block bearing walls mixed in the same building.

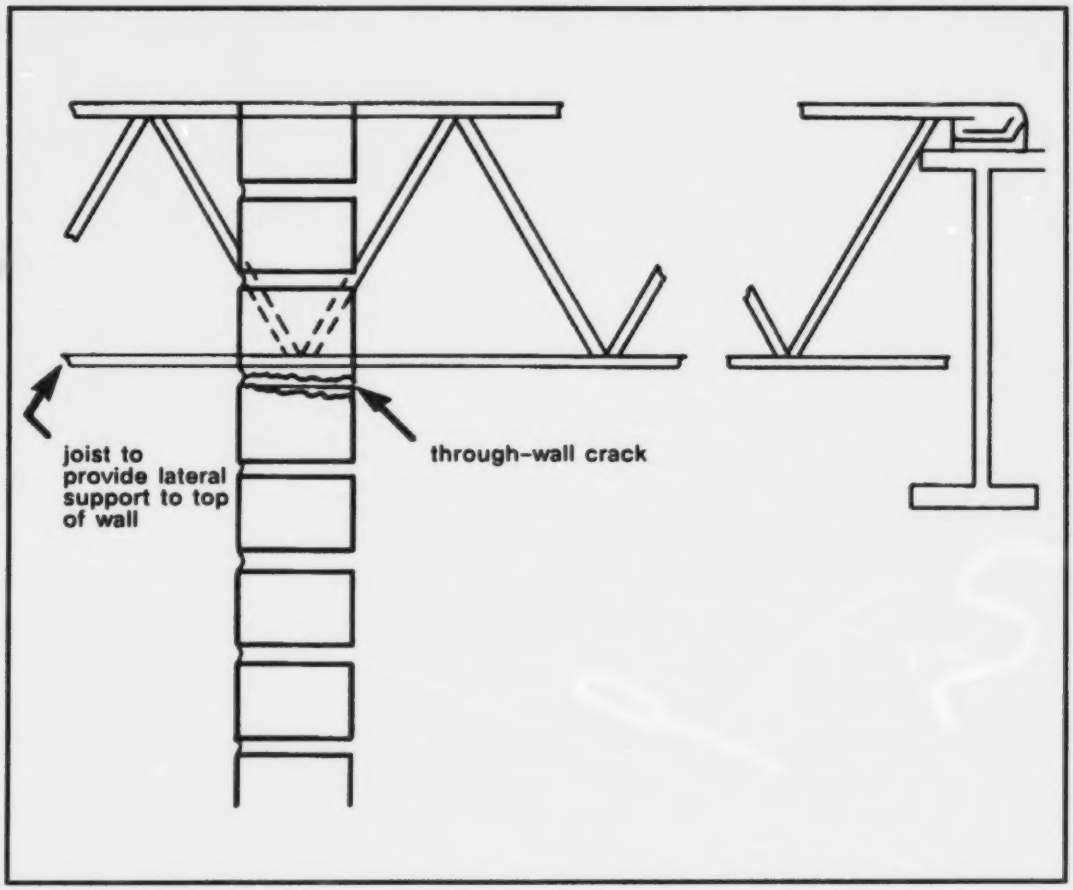


Figure 3.2.21 Block Shrinkage or Truss Uplift

Crack due to lack of provision for block shrinkage.

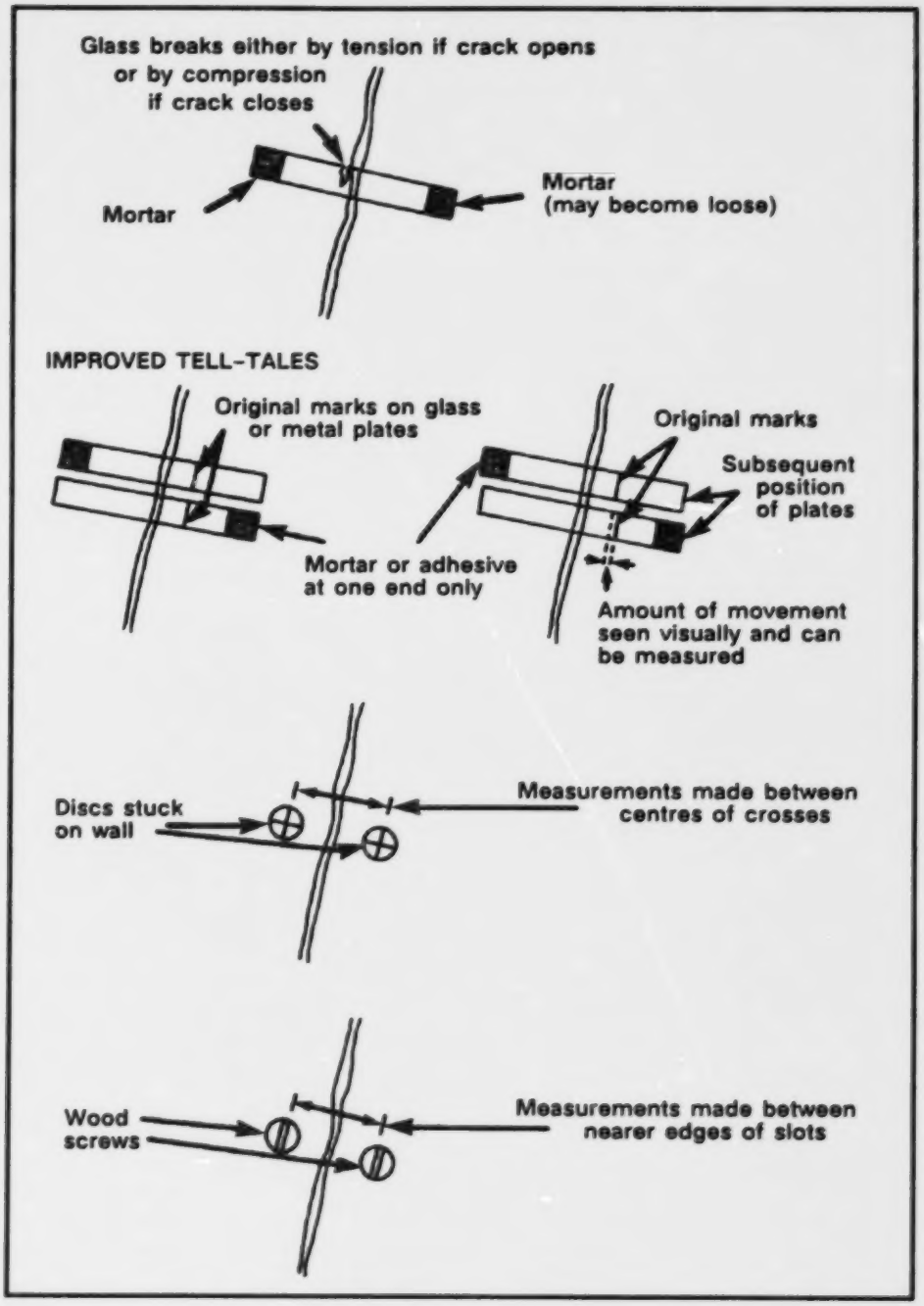


Figure 3.2.22 Tell-Tales for Crack Control

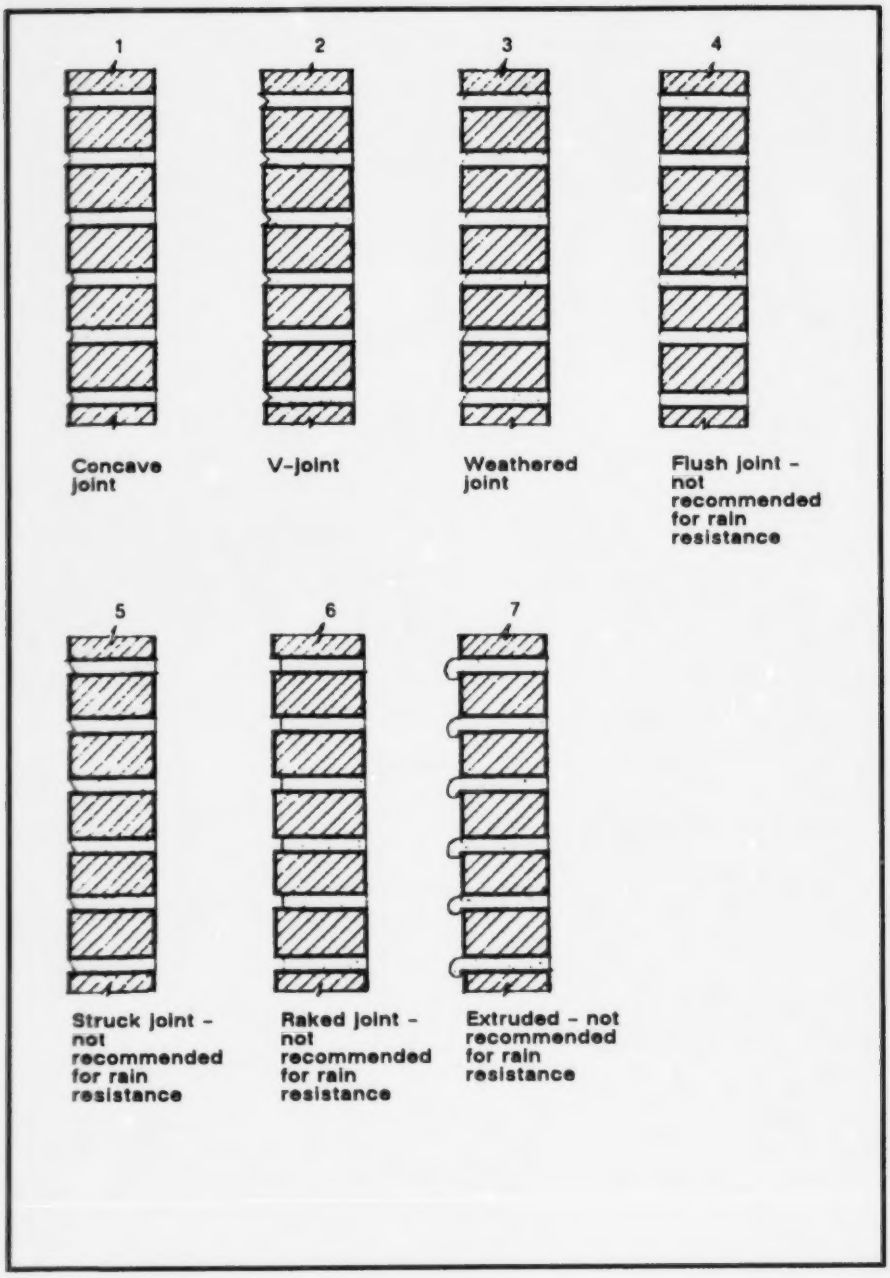


Figure 3.2.23 Types of Mortar Joint Treatment

Courtesy of CMHC

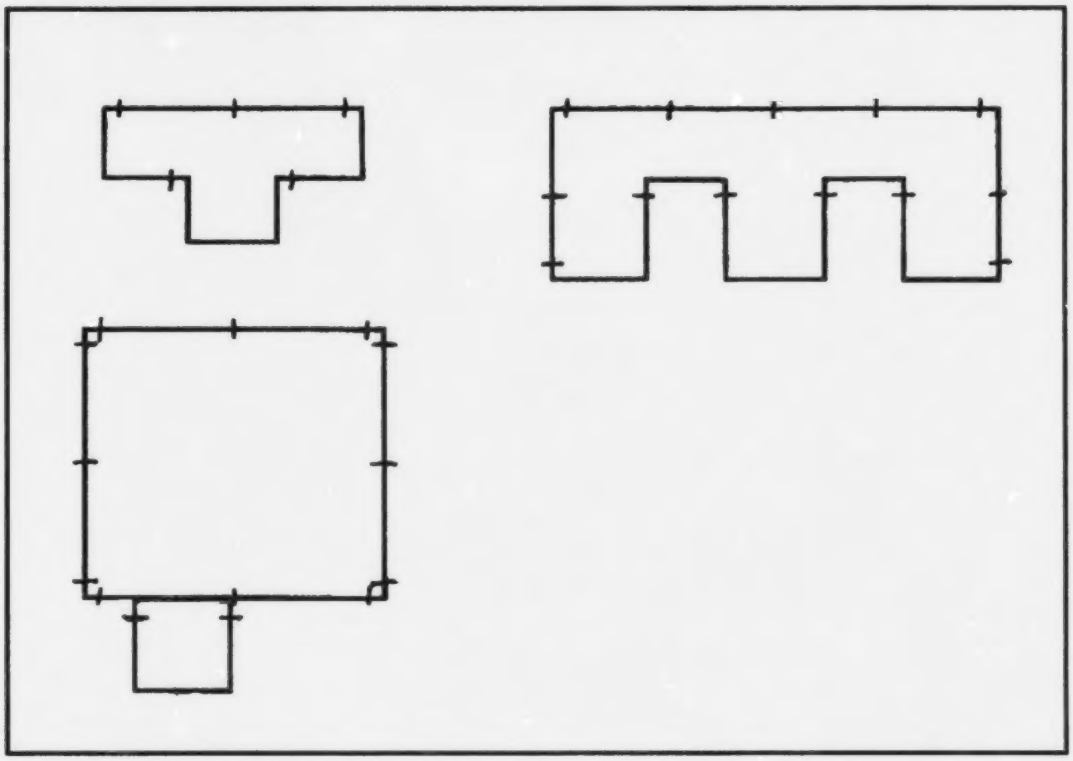


Figure 3.2.24 Typical Locations of Movement Control Joints

Courtesy of CMHC

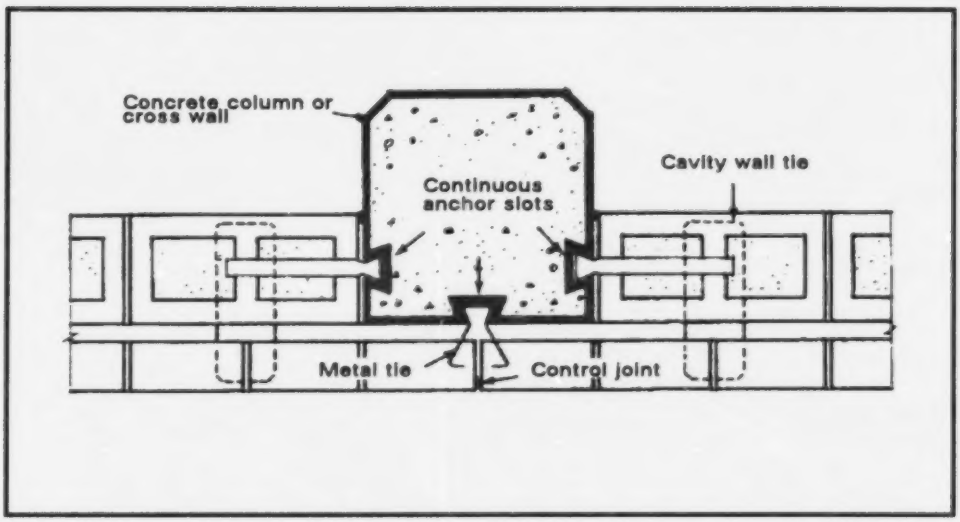


Figure 3.2.25 Movement Joint at Column

Courtesy of CMHC

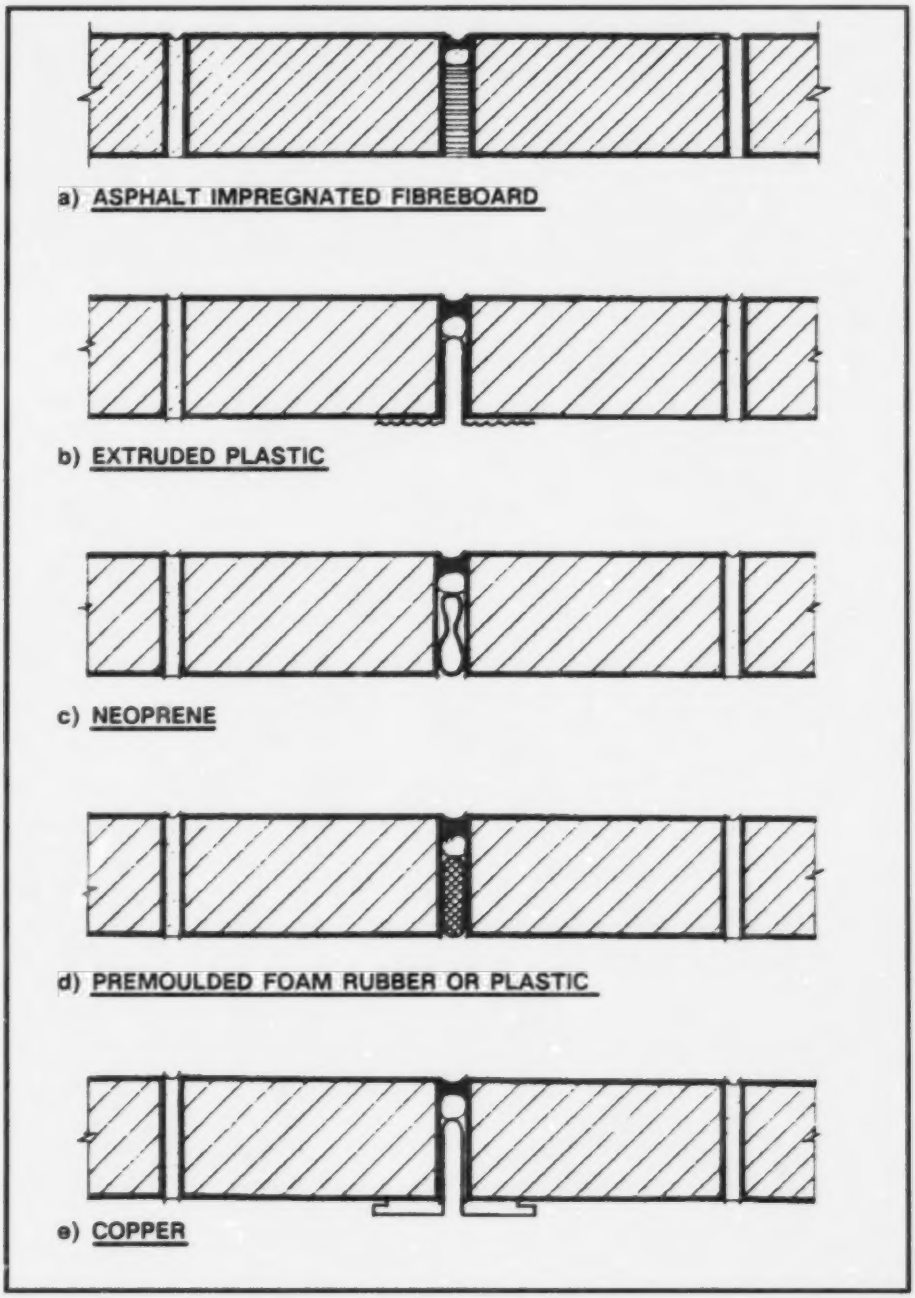


Figure 3.2.26 Width Filling of Expansion Joints

Courtesy of CMHC

Figure 27.1 - Direct seat connections

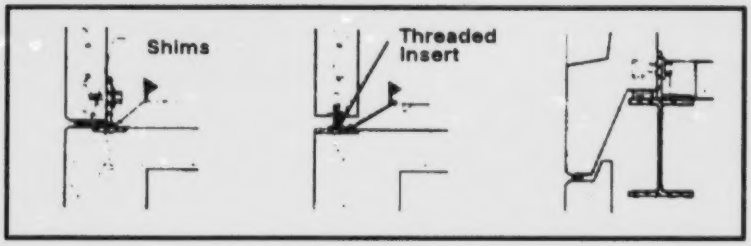


Figure 27.2 - Angle seat connections

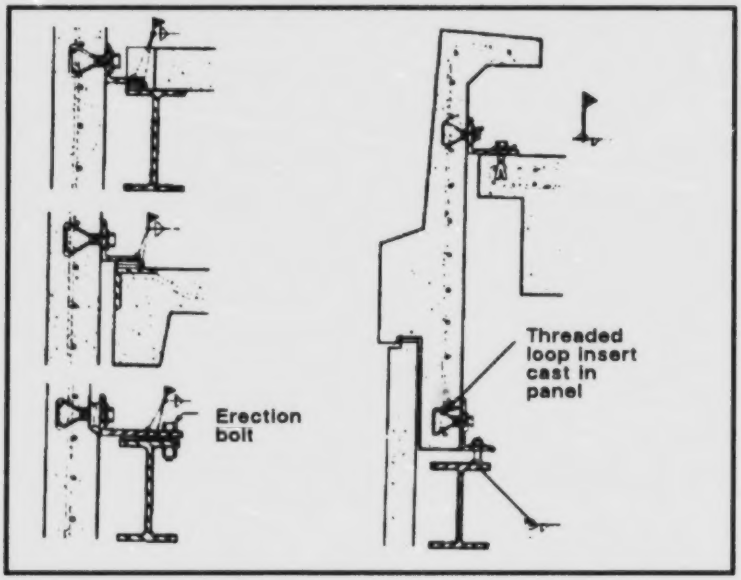


Figure 3.2.27 Anchor Details

Courtesy of CMHC

Figure 27.3 - Corbel seat connections

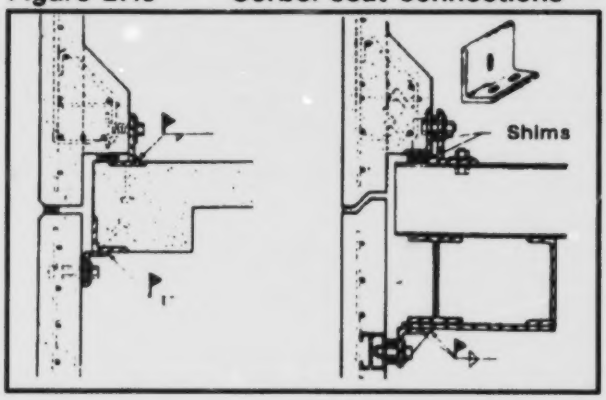


Figure 27.4 - Cast-in seat connections

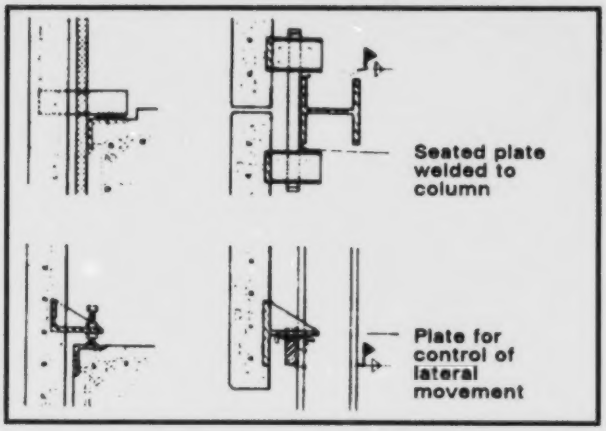


Figure 27.5 - Tie-back connections

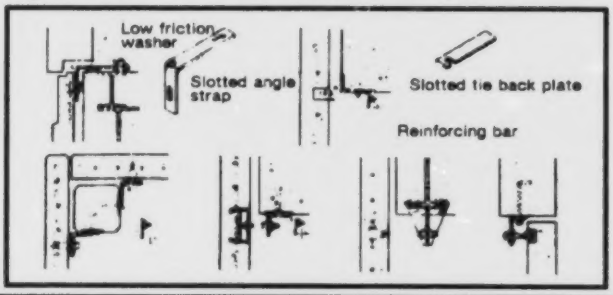


Figure 3.2.27 (Continued)

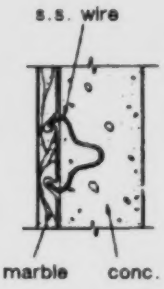
TYPICAL ANCHOR DETAILS FOR STONE VENEERS

(a) Marble

Anchor Test Data

	Shear (kN)(2)	Tension (kN)(2)
Avg. Failure	11	1.9
Safety Factor	30 to 1(3)	5 to 1(3)

(1) Tests performed with 100% bond failure built into panel
(2) Per anchor
(3) Based on anchor schedule



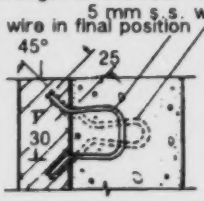
Anchor Schedule

		Width of Marble Facing Units (mm)			
		150 to 300	300 to 1050	1050 to 1220	over 1220
Height of Marble Facing Unit	Up to 1400 mm	One Anchor Top, One Anchor Bottom	Two Anchors Top, Two Anchors Bottom	Two Anchors Top, Two Anchors Bottom	Three Anchors Top, Three Anchors Bottom
	1400 mm and over	Add One Centre Anchor	Add One Centre Anchor	Add One Centre Anchor	Add Two Centre Anchors

Note: Top and bottom anchor holes of each marble facing unit should be drilled near the top and bottom edge and sh ould be 20mm deep at 35 deg. angles in the back of the marble facing units and opposing each other in the vertical position to receive the preformed anchors. Anchor holes centred in the backs of the marble facing units when necessary should be drilled in the same manner as the top and bottom anchors.

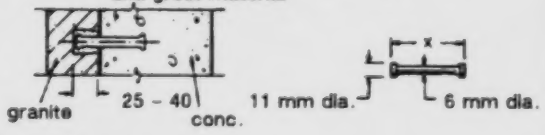
(b) Granite

Anchor A
Tensile strength of one rod: 10.4 kN
Shear strength of one rod: 7.8 kN



Anchor B
Tensile strength of anchor: 18.5 kN
Shear strength of anchor: 13.8 kN

Capacity depends on depth of holes and grout material



Test Data for Anchor A

Type of Hole	Shear Parallel to Anchor	Shear Perpendicular to Anchor (kN)	Tension (kN)
Diamond Core Drilled	10.7–11.8	14.0–16.0	3.5–5.0
Tungsten Carbide Drilled	9.8 (approx.)	13.0 (approx.)	1.9

Note:
(1) Factor of safety of anchor shear and tensile capability should be a minimum of 8.
(2) Toed-out, the anchor has approximately 50% more tensile capability than a toed-in anchor.
(3) As a general rule, anchors are spaced one every 0.25 to 0.5m²

Figure 3.2.28 Typical Anchor Details for Stone Veneer

Courtesy of CPCI Metric Design Manual

4. REFERENCES

1. **Parking Garages: Condition Survey**, prepared by the Division of Civil Engineering, for Building Performance, A.&E.S., Public Works Canada. March, 1988.

2. **Structural Slabs and Roofs: Condition Survey**, prepared by the Division of Civil Engineering, for Building Performance, A.&E.S., Public Works Canada. March, 1988.

REFERENCES ON STANDARDS AND REGULATIONS

3. **National Building Code of Canada, 1985**.

4. **Supplement to the National Building Code, 1985**.

5. CAN3-A23.3-M84, **Design of Concrete Structures for Buildings**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1984.

6. CAN-A23.2-M77, **Methods of Test for Concrete**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1977.

7. CSA A283-1980, **Qualification Code for Concrete Testing Laboratories**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, April 1980.

8. CAN3-S16.1-M84, **Steel Structures for Buildings**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1984.

9. CAN3-G40.20-M81, **General Requirements for Rolled or Welded Structural Quality Steel**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1981.

10. CAN3-086-M84, **Engineering Design in Wood**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1984.

11. CAN3-S304-M84, **Masonry Design for Buildings**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1984.

12. CSA A82.1-M1977, **Burned Clay Bricks**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, R1984.

13. CAN3-82.2-M78, **Methods of Sampling and Testing Brick**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, R1984.

14. CAN3-A82.8-M78, **Hollow Clay Brick**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, R1984.

15. CAN3-A165.1-M85, **Concrete Masonry Units**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1985.

16. CAN3-A165.2-M85, **Concrete Brick Masonry Units**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1985.

17. A165.3–M1977, **Prefaced Concrete Masonry Units**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1977.

18. A179–M1976, **Mortar and Grout for Unit Masonry**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1976.

19. CAN3–A369.1–M84, **Method of Test for Compressive Strength of Masonry Prisms**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1984.

20. CAN3–A370–M84, **Connectors for Masonry**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1984.

21. CAN3–A371–M84, **Masonry Construction for Buildings**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1984.

22. S269.1–1975, **Falsework for Construction Purposes**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1975.

23. S269.2–M1980, **Access Scaffolding for Construction Purposes**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1980.

24. S350–M1980, **Code of Practice for Safety in Demolition Structures**, Canadian Standards Association, Rexdale, Ontario, 1980.

25. **Metric Design Manual – Precast and Prestressed Concrete**, Canadian Prestressed Concrete Institute, Ottawa, Ontario, 1982.

26. **Exterior Wall Construction in High–Rise Buildings**, Advisory Document, Canada Mortgage and Housing Corporation, NHA 5450, Ottawa, Ontario, December 1982.

COMPLEMENTARY REFERENCES

27. Malhotra, V.M., **Testing Hardened Concrete: Non–destructive Methods**, American Concrete Institute Monograph No. 9, Detroit, Michigan, 1976.

REFERENCES ON MASONRY

28. Lucas, James J., **Causes and Cures for Deteriorating Masonry** The Construction Specifier, Alexandria, Virginia, March 1983.

29. Wintz, J.A. III, Yorkdale, A.H., **Brick Veneer, Panel and Curtain Wall Systems**, The Construction Specifier, December 1983, pp. 24–35.

30. Marchello, M.J., **Steel Stud Curtain Wall Design Stands up to Rigorous Tests, Canadian Building News**, (no date available).

31. Grimm, Clayford T., **Design Brick Masonry Walls to avoid Structural Problems, Architectural Record**, October 1977, pp. 125–128.

32. Grimm, Clayford T., **Masonry Failure Investigations**, American Society for Testing Materials STP 778, 1982, pp. 245–260.

33. **The Masonry Institute talks about steel studs and block back up**, Design Alert #5, (no other reference data available).

REFERENCES ON BUILDING TESTING AND INSTRUMENTATION

34. Hsi, G.C., H.S. Lew, F.Y. Yorkel, N.F. Somes, **Field Testing of Conventional Buildings for Static and Dynamic Deflections**, Nat. Bureau of Stand. Special Public. 361, Vol. 1, Proc. RILEM–ASTM–CIB Symp., May 2–5, 1972, Philadelphia, Penn.

35. **Roof Parapet Failure and Load Test – Building #18, Springhill Institution, Nova Scotia**, Public Works Canada, Halifax, N.S., June 1984.

36. **In–Situ/Non–destructive Testing of Concrete**, edited by W.M. Malhotra, American Concrete Institute, Sp–82, Detroit, Michigan, 1985.

REFERENCES ON CURTAIN WALLS

37. **Window and Wall Testing**, American Society for Testing Materials STP 552, Philadelphia, Pa., 1974.

38. **Methods of Test for Metal Curtain Walls**, NAAMM Standard TM–1–68T, Ill., 1969.

39. **Metal Curtain Wall Specifications Manual**, NAAMM, Ill., February 1968.

OTHER REFERENCES

40. **Model Documents for the Evaluation, Approval, and Inspection of Manufactured Buildings**, NBS Building Science Series 87, U.S. Department of Commerce, NBS, July 1976

41. **Technology of Building Maintenance**, Ministry of Public Building and Works, Conference Report, Bath University of Technology, 23–24 April 1968, London, England.

42. **Building Defects and Maintenance**, Building Research Establishment, BRE Digests, The Construction Press Ltd., Lancaster, England, 1978.

43. **Design Failures in Buildings**, First and Second Series, by Bickerdike, Allen, Rich & Partners for Building 1971–72, George Godwin ltd., London, England.

44. **Structural Engineering Handbook**, edited by E.H. Gaylor and C.N. Gaylor, McGraw–Hill, 1979.

45. Kavyrchine, M., **Inspection and Monitoring**, Int. Assoc. for Bridge & Structural Engineering Symp., IABSE, January 1983, Venice, Italy.

46. Wilson, Forrest, **Building Diagnostics**, Architectural Technology, Winter 1985.

47. Brill, Michael, **Performance Testing for Buildings**, ASCE J Construction, Div. v 98 n CO1, March 1972.

48. A perspective on masonry serviceability. W G Plewes. **Proceedings Third Canadian Masonry Symposium**, Edmonton, 1983.

49. **Brick veneer panel and curtain walls. BIA Technical Note 28B**, Brick Institute of America, Reston, Virginia, 1980 (there may be a later edition).

50. **Evaluation of Structural Properties of Masonry in Existing Buildings**. S G Fattal et al, NBSIR 74-520, National Bureau of Standards, USA, 1974.

51. **An investigation into methods of nondestructive evaluation of masonry structures**. Atkinson-Noland & Associates, NTIS, 1982.

52. **Wall cladding defects and their diagnosis**. BRE Digest 217, Building Research Establishment, Great Britain.

53. **Citeria for structural adequacy of buildings**. The Institution of Structural Engineers, Great Britain, 1976.

54. **The appraisal of existing structures**. The Institution of Structural Engineers, Great Britain, 1980.

55. **Guide to the performance of buildings**. The Institution of Structural Engineers, Great Britain, 1984.

5. APPENDICES

5.1 STANDARD TERMS AND UNITS OF MEASUREMENT

This section is not applicable.

5.2 GOVERNING AUTHORITIES AND REGULATIONS

All federal government buildings in Canada are required to meet the regulations in the National Building Code.

The NBC references additional standards dealing with concrete, steel, masonry and wooden structures.

Among these, the CSA standards are of particular importance. In the absence of a Canadian standard, the ASTM recommendations for testing building materials should be consulted.

5.3 CHECKLIST FOR STAGE I - PLAN AND ARCHIVE ANALYSIS

SUMMMARY OF INFORMATION OF PLANS AND SPECIFICATIONS

5.3.1 Building Identification

Name and Address _____

Occupancy (office, storage, laboratory, other) _____

_____

Date of Construction _____

Dates of renovations or alterations _____

_____

Date of last revision on plans _____

Type of structure (structural steel, flat plate, framed masonry, prestressed, other)

_____

Number of storeys and general approximate dimensions

_____

Analysis by _____ Date _____

5.3.2 **Design Data**

(Provide drawings or descriptions on separate sheets of paper. Check off each item completed).

_____ Sketches showing typical cross sections and dimensions. Use grid lines or coordinates for easy location of the elements.

_____ Expansion and control joint locations and details

(Are expansion joints prone to become filled with debris?_____)

_____ Plan of the building at all levels.

_____ Sketches of walls and partitions that interact structurally with the floor or roof deck.

_____ Actual unsupported height of walls:
Corresponding allowable heights from code:_____

_____ Sketches of lateral support details of walls.

_____ Material strengths.

Material Strength	Design Strength	Tested Strength	Test Date
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

_____ Wall reinforcement

	Type	Amount
. exterior walls	_____	_____
. interior partitions	_____	_____
. walls around staircases and elevators	_____	_____

_____ Type and spacing of ties. _____
_____

_____ Details of flashing: typical, at perimeter columns, at corners

. typical
. at perimeter columns
. at corners

_____ Weep holes (detail and spacing)

_____ Design width of cavity _____

Design width of bearing for brick at foundation and on shelf angles.

at foundation _____
on shelf angles _____

_____ Design gap below shelf angles _____

5.3.3 **Working Drawings**

____ Attach tracings or prints of elevation of exterior walls and interior partitions from the architectural drawings.

5.3.4 **Assessment**

On a separate sheet, provide a summary of items and situations which may not conform to the applicable code.

5.4 CHECKLIST FOR STAGE I – EXPERT WALKTHROUGH ANALYSIS

VISUAL INSPECTION

The investigation should expand this general checklist to include special conditions.

5.4.1 **Building Identification**

Name and Address _____

_____

_____

Building Manager _____ Telephone No. _____

How long? _____

Description

____ Occupancy (office, storage, laboratory, other)

_____

_____

____ Date of construction _____

____ Type of structure (flat slab, prestressed concrete, structural steel, other)

_____

Summary of Renovations, Alterations or Repairs

_____

_____

_____

_____

Inspected by _____ Date _____

5.4.2 Summary Evaluation

(This part is to be filled in after completion of the checklist. In rating, use: very poor/ poor/ fair/ good/ very good/ not applicable/ not accessible/).

	Outside Visual	Inside Visual	Overall Rating
Exterior Walls	_____	_____	_____
Interior Walls, Partitions	_____	_____	_____
Walls Encasing Stairways and Elevators	_____	_____	_____
Columns	_____	_____	_____
Joints: Expansion/control	_____	_____	_____
Other:	_____	_____	_____

Comments on structural problems found in walls and columns (tilting, bulging, spalling, sagging, cracking, dampness, corrosion, etc.)

_____

_____

_____

_____

_____

5.4.3 Rating and Evaluation of Walls and Columns

Make copies of this part of the form and use one page per floor. Rate with terms such as: none/ few/many/numerous/unacceptable/ acceptable.

5.4.3.1 Description

Location _____

Type of wall or column _____

Characteristic dimensions: height _____

width _____

length _____

Accessibility for inspection _____

5.4.3.2 Rate Structural Condition of Walls and Columns

Visual acceptability _____

Check if any of the following problems are visible:

_____ bulging
_____ tilting
_____ deformations
_____ cracks in walls (plaster, concrete, bricks, other)
_____ loose bricks, blocks, panels, ties, etc.
_____ sagging
_____ excessive deflection
_____ edge rotations
_____ other

Comfort acceptability _____

_____ cracks and loose elements inducing stress anxiety
_____ lack of evenness in wall surfaces, alignment of columns
_____ sagging effects: stuck doors, cracked walls and plaster
_____ structural conditions causing: leaks, air drafts, cold walls, etc.

Material deterioration _____

_____ cracks in mortar, stucco, plaster, or brick
_____ column bases crushed, corroded or disaggregated
_____ corroded ties or anchors
_____ corroded reinforcing
_____ spalled materials
_____ loose materials
_____ dampness, wet spots on ceiling and corners, efflorescence
_____ cavity wall weep holes, waterproofing
_____ rotting, bad smell

Quality of workmanship _____

_____ concrete honeycombs
_____ poor framework
_____ exposed reinforced bars
_____ patches
_____ visible repairs

Evidence of structural abuse

_____ deterioration of column bases or doorways due to vehicle impact
_____ bolt and splice corrosion
_____ missing connectors
_____ wall deterioration due to lack of maintenance
_____ inadequate structural modifications (wall openings, column removal)

Other elements or problems

_____ expansion joints
_____ control joints
_____ pillars
_____ ties
_____ parapets
_____ column fasteners
_____ spacing of horizontal and vertical reinforcements in walls
_____ flashing deficiencies
_____ weep hole failures
_____ width of cavity _____ mm
_____ exterior drainage
_____ bearing for brickwork _____ mm
_____ width of gap below shelf angle _____ mm
_____ mortared-in gap below shelf angle

5.5 SUGGESTED INTERVIEW QUESTIONS FOR STAGE I - OCCUPANT INTERVIEW

The following questions should be asked and the answers should be recorded. This list may have to be expanded to include special conditions. An excellent source of questions can be found in "Qualification Code for Concrete Testing Laboratories" (see Ref. 7).

1. Building name and address of the structure _____
_____

2. Interview date, time and place _____
_____

3. Investigator's name and address/telephone _____
_____

4. Respondent's name and occupation _____
_____

5. Dates of renovations or alterations (comment) _____
_____

Questionnaire

The following may help in formulating relevant questions.

5.5.1 **Questions if the interviewee was at the site during construction.**

Masonry Element

- labour problems at the site?
- how many masons?
- weather protection provided for masons masonry during construction? (air heaters, blankets, enclosures, heating of masonry units, sand, water)
- use of mortar admixtures? (type, brand name)
- use of sodium chloride or calcium chloride?
- walls covered every night?
- cavity walls: was cavity kept clean? how?
- joint reinforcement or wall ties?
- was joint reinforcement cut at expansion/control joints?
- mortar: masonry cement or portland cement–lime?
- weather: hot, warm, good, cool, cold, freezing rain? how many days?
- mortar material measurements: shovels, boxes?
- how were head joints filed? Shoved, buttered, or slushed?
- any masonry repointed or torn down and rebuilt during original construction period?
- wall tie settings: perpendicular to wall plane, or diagonal?
- were bricks wet before laying? how often? how?
- were inspectors ever around? how often?
- were test specimens ever taken?
- anchors: what type? turned down into brick cores?
- reinforced brick masonry?
- were any changes made in construction from plans or specifications?
- alignment of blocks or bricks?
- were expansion joints placed under shelf angles?
- were shelf angles placed before masonry was built or were they set on the top of masonry?
- was the frame plumb and true, or did bricks have to be cut to pass or fit columns, spandrel beams, or shelf angles?
- were flashed joints sealed?
- were shelf angles mitered or cantilevered to be continuous around corners? or discontinuous at wall corners?

Cast–in–Place Concrete Elements

- quality control of ready mix concrete? What tests were performed?
- inspection of reinforcing before pours?
- water added to concrete truck on site? If so, why? When? How much?
- how was rebar spliced between one floor and another?
- how was good bond accomplished between pours?
- were reinforcing bars clean?

- how was rebar held in place during pour?
- did any column or wall forms move or bulge during pours? What remedial action was taken?

Precast Concrete Elements

- who supplied precast elements? Who installed them?
- how were connections made? Did anyone inspect this work? Who?
- qualifications of welders, if they were used.
- did any precast concrete suffer damage in transit or during erection? If so, what repairs were made?

Structural Steel Elements

- did anchor bolts fit the base plates?
- how were columns shimmed?
- was grout or sealant installed around and under base plates?
- are HSS columns free to drain at bottom?
- is all steel rust protection intact?

Wall Framing Elements – Timber or Steel Studs

- how was framing accomplished? Shop prefabricted or stick built?
- how good was quality? Were walls well aligned with beams above and below? Did carpenters make cuts in framing to accommodate services?
- were wind- or gravity-load bearing studs inspected after construction? Were all design provisions installed?
- how much care was taken with building paper, caulking, air/vapour barrier? Were accidental holes and tears common?

5.5.2 **Questions if the interviewee is an occupant:**

- did you see repairs being done? cracks patched?
- wet spots? dampness? cold walls? water condensation?
- loose bricks?
- ask the occupant about structure problems and help him to formulate his concerns. These key words may help: load, wind, snow, rain, cold, intrusion, strength, position, vertical, lateral, diagonal plane, compression, elongation, vertical, lateral, diagonal, plane, compression, elongation, deflection, twisting, warping, water permeability, water tightness, fire resistance, effects of fire, vibration, cracks, fissures, mortar, plaster, block.

5.6 BUILDING PERFORMANCE EVALUATION DOCUMENT LIST

Documents in this series have been divided into four classes. Class A documents describe the use of documents in the other three classes. Class B is a catalogue of tests which includes an index and cross reference list. Class C documents provide an overview of the three performance areas and summarize the Class D documents in the respective area. Class D documents contain descriptions of performance attributes and detail means of assessing those attributes.

	A1	Project Manager's Guide
	A2	Property Manager's Guide
	B1	Catalogue of Tests
Overviews	C1	Environmental and Energy Performance
	C2	Functional Performance
	C3	Systems and Material Performance
Environmental and Energy Performance	D01	Pollutant Evaluation
	D02	Pollution Migration
	D03	Thermal Environment Evaluation
	D04	Global Evaluation: Energy Performance
	D05	Component Evaluation: Energy Performance
	D06	Equipment and Systems Evaluation: Energy Performance
	D07	Retrofit Evaluation: Energy Performance
	D08	Acoustic Environment Evaluation
	D09	Air Circulation Evaluation
	D10	Illumination Evaluation
	D11	Weather Data Collection
Functional Performance	D20	Record and Archive Analysis
	D21	Plan Annotation
	D22	Focused Interviews
	D23	Questionnaires
	D24	Observation
Systems and Material Performance	D30	Structural Walls and Columns: Condition Survey
	D31	Structural Slabs and Roofs: Condition Survey
	D32	Parking Garages: Condition Survey
	D33	Mechanical Systems Evaluation
	D34	Mechanical Controls Evaluation
	D35	Electrical Systems Evaluation
	D36	Airtightness and Pressure Monitoring
	D37	Measurement of Outdoor Air Supply Rate
	D38	Thermographic Inspections of Building Enclosures
	D39	Thermal Resistance Measurement
	D40	Moisture Content Inspections
	D41	Roofing Systems Evaluation

Travaux publics Canada
Services d'architecture et de génie

Public Works Canada
Architectural and Engineering Services

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Murs et colonnes structuraux: relevé de la condition

Document D30

Canada

Série sur l'évaluation du rendement des immeubles

Murs et colonnes structuraux: relevé de la condition

Document D30

SAG 1-4:86-39

mars 1988

Le ministre des Travaux publics ne fait aucune recommandation ou n'endosse sous quelque forme que ce soit, exprimée ou tacite, cette publication ou les programmes ou l'information qu'elle contient quant à la qualité, la commercialisabilité, l'adéquation à une fin particulière ou la capacité à produire un résultat quelconque. En aucun cas, le Ministre ou Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, ses employés, fonctionnaires ou agents gouvernementaux ne peuvent être tenus légalement responsables à l'égard de quiconque pour un préjudice direct, indirect ou découlant de l'utilisation de ladite publication ou des programmes ou de l'information y contenus.

Publiés par les Services d'architecture et de génie
Travaux publics Canada

Travaux publics Canada | Public Works Canada

FICHE SIGNALÉTIQUE DE DOCUMENT

1. Titre du document MURS ET COLONNES STRUCTURAUX : RELEVÉ DE LA CONDITION	2. Numéro de contrôle AES/SAG 1-4:86-39
	3. Date Mars 1988
4. Contact C. Patrickson, Travaux publics Canada	5. No de réf. du conseil
6. Chargé de projet	7. No de la collection technique D30
8. Nom et adresse de l'organisme rédacteur Division du rendement des immeubles, T.P.C. Local C-456, Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside, Ottawa, Ontario, K1A 0M2 Téléphone: (613) 998-7830	9. Type de document Lignes directrices
	10. Nombre de pages 60
11. Nom et adresse de l'organisme promoteur Technologie du design, de la construction et de l'immobilier Programmes de soutien à la gestion immobilière fédérale Logement	12. No de dossier de TPC A4270-16
	13. No de projet de TPC 602055
14. Notes Toutes questions ou commentaires doivent être dirigés à l'organisme rédacteur, se référer à 8 ci-haut.	15. No de publication de ASC
	16. ISBN

17. Résumé

Ce document résume les méthodes d'essai et d'analyse nécessaires à l'évaluation des murs et colonnes structuraux. Une série d'essais est décrite pour étudier la condition et l'habilité des éléments structraux en compression pour supporter les charges. Les zones propices à la détérioration et demandant à être fréquemment inspectées sont identifiées. Une liste de questions à poser et de points à surveiller sont donnés comme exemple à l'étape de l'évaluation préliminaire. Les essais sont effectués à partir d'observation sans équipement et d'analyse de l'usage, jusqu'à des recherches dans les archives et études plus avancées. Les essais au scléromètre (Marteau Schmidt), à la sonde Windsor, au pachomètre, et les essais dynamiques ou par vibration sont les techniques complexes non-destructives décrites dans ce document. Des recherches plus avancées peuvent être conduites en consultant la liste des références.

18. Diffusion Exemplaires disponibles: Centre de documentation Services d'architecture et de génie Travaux publics Canada Édifice Sir Charles Tupper Promenade Riverside Ottawa, Ontario K1A 0M2	19. Mots clés	
	20. No de catalogue du centre de documentation BP D30b	21. Prix

DPW 2398 (86/09)

TABLE DES MATIÈRES

	PRÉFACE	*ix*
1.	**INTRODUCTION**	*1*
1.1	But et objectifs	*1*
1.2	Information de base	*1*
2.	**DÉLIMITATION DU SUJET**	*3*
2.1	Cadre général	*3*
2.2	Limites des techniques d'évaluation	*3*
3.	**MÉTHODOLOGIE**	*4*
3.1	Étape I – Évaluation préliminaire (Introduction)	*4*
3.1.1	Analyse des plans et des archives	*4*
3.1.1.1	Description des techniques	*4*
3.1.1.2	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	*4*
3.1.2	Analyse des lieux par des experts	*4*
3.1.2.1	Description des techniques	*5*
3.1.2.2	Équipement	*5*
3.1.2.3	Évaluation	*5*
3.1.2.4	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	*6*
3.1.2.5	Documentation: établissement et classement des documents de travail	*6*
3.1.3	Analyse de l'usage et de l'occupation	*6*
3.1.3.1	Description des techniques	*6*
3.1.3.2	Équipement	*6*
3.1.3.3	Évaluation	*6*
3.1.3.4	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	*6*
3.1.3.5	Documentation: établissement et classement des documents de travail	*6*
3.2	Étape II – Techniques simples de mesure	*7*
3.2.1	Mesure des dimensions et vérification des tolérances	*7*
3.2.1.1	Description des techniques	*7*
3.2.1.2	Équipement	*7*
3.2.1.3	Démarche détaillée	*8*
3.2.1.4	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	*8*
3.2.1.5	Documentation: établissement et classement des documents de travail	*8*
3.2.2	Détermination des propriétés des matériaux	*8*
3.2.2.1	Description des techniques	*8*
3.2.2.2	Équipement	*9*
3.2.2.3	Évaluation	*10*
3.2.2.4	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	*10*
3.2.2.5	Documentation: établissement et classement des documents de travail	*10*

3.2.3	Inspection des murs	*10*
3.2.3.1	Description des techniques	*10*
3.2.3.2	Équipement	*10*
3.2.3.3	Évaluation	*11*
	(a) Murs de maçonnerie	*11*
	(b) Parements préfabriqués et placages de pierres	*15*
	(c) Murs à placage de briques avec charpente en poteaux d'acier	*15*
3.2.3.4	Moment de l'évaluation et ressources à prévoir	*16*
3.2.3.5	Documentation: établissement et classement des documents de travail	*16*
3.3	Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé	*16*
3.3.1	Essais non destructifs	*16*
3.3.1.1	Essai au scléromètre (Marteau Schmidt)	*17*
3.3.1.2	Essai à la sonde Windsor	*17*
3.3.1.3	Essais dynamiques ou par vibration	*17*
3.3.1.4	Essai au pachomètre	*17*
4.	**RÉFÉRENCES**	*47*
5	**ANNEXES**	*51*
5.1	Termes et unités standards de mesure – sans objet	
5.2	Autorités compétentes et réglementation applicable	*51*
5.3	Liste de vérification pour l'étape I – Analyse des plans et des archives	*51*
5.3.1	Identification du bâtiment	*51*
5.3.2	Données de conception	*52*
5.3.3	Dessins d'exécution	*53*
5.3.4	Évaluation	*53*
5.4	Liste de vérification pour l'étape I – Analyse des lieux par des experts	*53*
5.4.1	Identification du bâtiment	*53*
5.4.2	Évaluation sommaire	*54*
5.4.3	Estimation et évaluation des murs et colonnes	*54*
5.4.3.1	Description	*54*
5.4.3.2	Évaluer l'état structural des murs et colonnes	*55*
5.5	Questions suggérées pour l'étape I – Analyse de l'usage et de l'occupation	*56*
5.5.1	Questions à poser si la personne interviewée était sur le chantier pendant la construction	*57*
5.5.2	Questions à poser si la personne interviewée est un occupant	*59*
5.6	Liste de documents évaluant le rendement des immeubles	*60*

LISTE DES FIGURES

3.2.1	Colonne avec retrait marquant pour recevoir le solin	*18*
3.2.2	Défectuosité du solin situé près d'une cornière de support	*19*
3.2.3	Interruptions dans le solin causées par la présence d'une colonne	*20*
3.2.4	Chantepleures déficientes	*21*
3.2.5	Détails d'un solin de recouvrement	*22*
3.2.6	Détails d'un solin posé sur un parapet	*23*
3.2.7	Détails d'un appui de fenêtre	*24*
3.2.8	Exemple de support inadéquat	*25*
3.2.9	Détails du joint à la cornière de support	*26*
3.2.10	Flambage du mur de briques	*27*
3.2.11	Briques craquelées par le mouvement d'expansion du mur	*28*
3.2.12	Types de fissures dans les murs de maçonnerie	*29*
3.2.13	Fissuration due au gonflement de l'argile séchée	*30*
3.2.14	Effet du déplacement vers l'extérieur des solives du toit (expansion du toit)	*31*
3.2.15	Fissures de cisaillement ou de flexion dans les murs longitudinaux et fissures de flexion dans les murs transversaux	*32*
3.2.16	Fissures dues à des déplacements excessifs entre un maçonnerie de briques et une fondation de béton porteuse	*33*
3.2.17	Damage causé à un parapet	*34*
3.2.18	Effets de la dilatation et du retrait sur les murs bas de maçonnerie	*35*
3.2.19	Effet de la dilatation dans un coin	*36*
3.2.20	Fissures de cisaillement dans des murs transversaux	*37*
3.2.21	Retrait des blocs ou soulèvement par la structure	*38*
3.2.22	Indicateurs courants pour le monitorage des fissures	*39*
3.2.23	Types de joints de mortier	*40*
3.2.24	Emplacements types des joints de contrôle	*41*
3.2.25	Joint de rupture au niveau d'une colonne	*42*
3.2.26	Largeur de remplissage des joints de dilatation	*43*
3.2.27	Détails d'ancrage des parements en béton préfabriqué	*44*
3.2.28	Détails d'ancrages types pour les placages de pierres	*46*

PREFACE

Une bonne connaissance de l'état de la structure est nécessaire lorsqu'il faut apporter des modifications à un bâtiment pour l'adapter à un nouvel usage. Cette connaissance est également requise lorsque, en raison du vieillissement ou de la détérioration, la capacité de la structure existante à soutenir des charges doit être vérifiée ou lorsque des travaux de réparation doivent être planifiés ou évalués.

Pour évaluer le rendement structural d'un bâtiment, il faut recueillir des informations sur sa structure et sur les causes de sa détérioration. L'objectif du présent document est d'aider l'ingénieur à évaluer l'état des murs et des colonnes – les éléments structuraux travaillant en compression. Une série de techniques d'analyse y sont présentées afin d'aider au processus d'évaluation. Un certain temps d'exécution a été prévu pour chaque technique, mais on ne peut vraiment planifier les ressources qu'une fois les caractéristiques du bâtiment précisément définies.

Le présent rapport fait partie d'une série traitant de l'évaluation de l'état des bâtiments détériorés. Les deux autres rapports portent sur les éléments travaillant en flexion — toits, planchers, dalles et poutres — ainsi que sur les garages de stationnement. Le présent rapport complète celui sur les toits et planchers, que les lecteurs devront consulter pour une explication plus complète de certaines des techniques exposées dans le présent document.

1. INTRODUCTION

1.1 BUT ET OBJECTIFS

Le présent document décrit les trois phases d'évaluation des murs et colonnes porteurs d'un bâtiment. Ces phases, par ordre décroissant de complexité, sont les suivantes :

Étape I – Évaluation préliminaire (Introduction)
Étape II – Techniques simples de mesure
Étape III – Monitorage détaillé et spécialisé

L'inspection devrait être faite par un ingénieur en structure ou par quelqu'un travaillant sous sa supervision. Des listes de vérification pour les étapes de l'évaluation sont fournies en annexe. Les inspecteurs devraient se munir de ces listes en effectuant l'évaluation pour s'assurer que tous les points ont été couverts.

1.2 INFORMATION DE BASE

Le présent document traite des murs et colonnes, les éléments travaillant en compression du bâtiment. La détérioration des murs et colonnes se manifeste généralement par des inclinaisons, des bombements, la dégradation des matériaux, la corrosion, l'éclatement, l'efflorescence, la fissuration, l'humidité, de fortes déformations et une détérioration générale. La plupart des problèmes surviennent dans les placages de maçonnerie, les murs rideaux, les murs de maçonnerie porteurs, les cloisons intérieures et les murs en surélévation (parapet).

Il faut parfois que les éléments des bâtiments travaillant en compression–flexion (murs, colonnes et certains cadres) soient évalués pour s'assurer de leur conformité au Code national du bâtiment ou pour d'autres raisons telles que les suivantes :

Détérioration des éléments structuraux – les effets thermiques, l'effet des cycles gel–dégel, le fluage et le retrait peuvent causer des fissures excessives. L'humidité et les agents chimiques peuvent produire de la corrosion et la détérioration des matériaux. Des flèches excessives des éléments structuraux peuvent causer des problèmes secondaires tels que le bris des carreaux, des portes difficiles à ouvrir, la détérioration des membranes d'étanchéité et des dommages au pare–air et vapeur, en plus de fissurer les briques et de diminuer leur adhérence. Le tassement ou le soulèvement des fondations peut causer une destruction partielle des murs et colonnes.

Éléments structuraux de qualité inférieure – une évaluation structurale complète peut être nécessaire pour déterminer la tenue en service des éléments structuraux de qualité inconnue ou douteuse. Les coffrages pour béton de mauvaise qualité, les nids de gravier dans le béton, les barres d'armature mal placées, les colonnes inclinées, les éléments structuraux mal alignés, les défauts d'assemblage des colonnes, un appui latéral insuffisant des murs et colonnes porteurs, des attaches manquantes, mal placées ou pliées pour les intégrer à la construction ainsi que des joints de dilatation et de construction mal conçus sont tous des exemples d'ouvrages de qualité inférieure.

Changement dans l'usage du bâtiment – le remodelage, la rénovation ou la modification d'un bâtiment peuvent produire des charges accrues qui peuvent mener à des dommages aux murs et colonnes.

Preuve de tenue – lorsque des modifications, améliorations ou réparations importantes ont été apportées à la structure, il peut être nécessaire de démontrer que la tenue subséquente de cette dernière est adéquate.

2. DÉLIMITATION DU SUJET

2.1 CADRE GÉNÉRAL

Bien que les constructions soient de plus en plus sûres d'année en année, on dénote encore des défaillances de bâtiments généralement dues à de simples raisons telles que l'erreur humaine, les changements dans l'usage du bâtiment, un manque de connaissance ou une surveillance inadéquate pendant la construction. L'évaluation de la structure du bâtiment à l'aide des normes et codes constitue un bon moyen d'identifier la plupart de ces problèmes.

2.2 LIMITES DE LA TECHNIQUE D'ÉVALUATION

La tenue structurale des éléments travaillant en compression peut souvent être évaluée en observant les symptômes tels que les déformations et fissures. Dans certains bâtiments, il faudra enlever une partie du béton, des briques, des pierres ou des blocs de maçonnerie pour déterminer l'étendue du problème.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 ÉTAPE I – ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE (INTRODUCTION)

3.1.1 Analyse des plans et des archives

3.1.1.1 Description des techniques

La première phase de l'évaluation des bâtiments existants consiste à examiner les plans, les cahiers des charges et autres documents y compris les rapports sur les sols et les fondations. Si la chose est possible, il est préférable d'utiliser les dessins "tel que construit". Les rapports sur les évaluations et réparations antérieures sont également utiles.

Il faut tirer des plans et des cahiers des charges les renseignements suivants :

a) la date de construction,
b) le code du bâtiment alors en vigueur,
c) les charges de calcul,
d) les propriétés des matériaux des éléments structuraux, et
e) l'année de publication des normes sur les matériaux et du code du bâtiment utilisés.

Il faut examiner les plans et dessins pour déceler les changements apportés au bâtiment. L'usage prévu initial du bâtiment doit être clairement déterminé et comparé à son usage actuel.

Il est possible que la conception initiale n'ait pas pris en compte certains facteurs tels que les charges non prévues initialement, de fortes variations de température, la présence de produits chimiques et une humidité excessive.

Tous les facteurs pouvant avoir un effet sur la structure doivent être analysés, y compris toute modification à la protection des éléments structuraux contre les agents détériorants tels que le feu, la pluie, la neige, le vent et les orages. Il faut également déterminer si les matériaux structuraux conviennent au type d'environnement et d'occupation. La conception des éléments structuraux d'entretoisement secondaire tels que les fixations, les entures, les raidisseurs, les assemblages et les joints de dilatation et de rupture ainsi que les effets des installations de plomberie, du matériel CVCA et les autres services doivent également être analysés.

L'évaluation est encore plus efficace lorsqu'on utilise la liste de vérification de l'étape I et les formules à la section 5.3.

3.1.1.2 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

En supposant que les renseignements nécessaires soient facilement disponibles et tout dépendant des dimensions et de la complexité du bâtiment, une évaluation de l'étape I ne devrait pas prendre plus de quelques jours.

3.1.2 Analyse des lieux par des experts

L'inspection par des experts est une technique d'évaluation basée principalemnent sur une inspection visuelle et qui vise à obtenir une évaluation globale de l'état de la

structure des murs et colonnes d'un bâtiment. Bien que cette méthode soit simple et demande peu de temps, elle doit permettre d'établir la gravité des problèmes afin que d'autres investigations soient entreprises au besoin.

3.1.2.1 Description des techniques

La compétence technique de l'inspecteur est importante. Il devrait avoir une excellente compréhension des codes, de l'esprit et de la signification de leurs exigences et des symptômes qui révèlent l'état des éléments structuraux.

La liste de vérification pour l'évaluation de l'état des murs et colonnes d'un bâtiment est fournie à la section 5.4. En plus d'utiliser cette liste, l'inspecteur devrait prendre des photographies des éléments détériorés et des zones douteuses.

L'inspecteur doit chercher à trouver s'il n'y a pas de déplacements latéraux et de défauts d'aplomb, d'alignement vertical, de tassement des fondations, de conditions causant des moments inhabituels sur les éléments verticaux, des rotations aux bords d'appui des murs, des fissures, de l'humidité, des taches, de l'éclatement, de l'écaillage et des déplacements des murs. Tout symptôme doit être analysé avec soin pour connaître ses causes d'origine structurale. Par exemple, de simples tâches peuvent mener à la découverte d'une source d'humidité qui peut finalement causer la corrosion de l'acier; des fissures dans un mur peuvent être le résultat d'une déformation des fondations; et un déplacement latéral peut être le résultat de charges non équilibrées sur une charpente d'acier mal conçue.

3.1.2.2 Équipement

Le matériel d'équipement suivant est utile pour mener une inspection d'expertise :

- appareil photo avec téléobjectif, objectif grand angulaire et bonnette d'approche, pellicule couleur, lampe-éclair et formules d'enregistrement des photographies;
- plaquette à pince, listes de vérification, tablette de papier, crayons marqueurs, crayons feutre indélébiles (2 couleurs);
- ruban de mesure, vernier grossissant ayant une échelle de 0,1 mm, ficelle, fil à plomb et niveau de menuisier;
- lampe de poche, couteau à mastic ou canif robuste, marteau;
- lunettes d'approche.

3.1.2.3 Évaluation

En plus des exigences structurales comprises dans le code du bâtiment, un des éléments importants à surveiller lors de l'inspection est "l'acceptabilité sur le plan visuel", ce qui veut dire que l'apparence des murs ne doit pas être inacceptable en raison de flèches ou déformations latérales, de fissures ou d'éclatements. Il faut inspecter les joints de dilatation et l'espacement des joints de rupture ainsi que les joints de plafond et de plancher pour déceler tout signe de déplacement ou déformation. L'intégrité du produit d'étanchéité dans ces joints doit être vérifiée.

Il faut également déceler les effets de l'humidité en vérifiant s'il n'y a pas de la condensation sur la face intérieure des murs extérieurs et des fenêtres.

3.1.2.4 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il suffit généralement de deux jours pour inspecter un bâtiment de 10 000 m² pourvu qu'on ne rencontre aucun problème particulier. Des bâtiments plus grands nécessitent plus de temps.

3.1.2.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Des registres clairs et complets doivent être produits lors de l'inspection. Toutes les zones inspectées doivent être identifiées par le numéro d'étage et l'emplacement. Il faudra dessiner les sections importantes et photographier les zones détériorées ou douteuses. Si l'on prend des photographies, chacune d'elles devrait porter les coordonnées d'emplacement sur un plan. L'échelle et la date des photographies doivent être fournies.

3.1.3 **Analyse de l'usage et de l'occupation**

Au cours de l'évaluation, l'inspecteur interview le superviseur de la construction ou le gérant d'immeuble et les occupants pour savoir s'ils ont déjà remarqué des problèmes structuraux. Ces renseignements viennent s'ajouter à ceux déjà recueillis lors de l'inspection.

3.1.3.1 Description des techniques

Le superviseur de la construction – s'il est disponible – ou le gérant d'immeuble et les occupants doivent être interviewés et leurs réponses consignées. Un magnétophone peut être utilisé si l'interviewé le permet.

La section 5.5 fournit une liste de questions pour aider l'enquêteur. Cette liste n'est en fait qu'une ligne directrice : l'enquêteur doit poser toutes les questions supplémentaires requises pour obtenir le portrait le plus complet possible de l'état du bâtiment.

3.1.3.2 Équipement

Un magnétophone peut être utilisé.

3.1.3.3 Évaluation

Les renseignements recueillis sur les formulaires d'entrevue devraient être analysés et reliés aux résultats de l'analyse de l'étape II afin d'en arriver à une évaluation plus précise de la structure.

3.1.3.4 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il faut environ deux jours pour effectuer ces entrevues et documenter les réponses obtenues.

3.1.3.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Tous les questionnaires doivent être conservés et leur analyse doit faire l'objet d'un rapport.

3.2 ÉTAPE II – TECHNIQUES SIMPLES DE MESURE

Au cours de cette étape, on effectue des essais simples qu'on pourra analyser afin de déterminer l'état structural des murs et colonnes. Ces essais sont nécessaires si des signes de détérioration ont été décelés lors de l'inspection et lors de l'analyse des entrevues avec les occupants.

Pour éviter les coûts excessifs, l'évaluation devrait surtout porter sur les zones critiques présentant des défectuosités typiques.

La première étape dans l'évaluation de la tenue des murs et colonnes consiste à mesurer leurs dimensions réelles, à vérifier leur alignement et à mesurer la résistance réelle de leurs éléments constituants. Si l'on doute que les dimensions et résistances de ces éléments soient conformes à la norme, une analyse plus détaillée devrait être effectuée afin de confirmer la sécurité qu'offre la structure. Les essais touchant aux caractéristiques des matériaux sont généralement non destructifs, mais il faut parfois prélever des carottes et échantillons, ce qui implique certaines détériorations localisées.

3.2.1 **Mesure des dimensions et vérification des tolérances**

3.2.1.1 Description des techniques

Les mesures doivent être précises et doivent exposer toutes les caractéristiques structurales de l'élément. Par exemple, les creux dans les colonnes, les ouvertures dans les murs porteurs, les fissures agissant comme joints de dilatation, le tassement des colonnes porteuses et les modifications à la géométrie initiale doivent être notés.

L'appui latéral des murs doit aussi être examiné. Une attention particulière doit être apportée à la description de l'état des bords supérieurs et inférieurs des murs et colonnes. L'état de ces bords peut être difficile à évaluer étant donné que des assemblages fixes peuvent subir une rotation, que les assemblages articulés peuvent devenir partiellement fixes, que les extrémités libres des murs aux joints de dilatation peuvent se remplir de débris ou de mortier, et ainsi de suite.

Il faut examiner les éléments des colonnes, y compris l'état des boulons d'ancrage et des plaques d'appui pour déterminer s'ils sont desserrés, manquants ou rouillés. Les autres éléments à vérifier sont l'efficacité de l'entretoisement et l'état du béton, y compris les chapiteaux et les panneaux en retombée.

Lorsque l'accessibilité des éléments cause un problème, une démolition locale peut s'avérer nécessaire.

3.2.1.2 Équipement

En plus de l'équipement nommé à la section 3.1.2 pour l'inspection par des experts, les outils suivants sont nécessaires : des échafaudages, un échafaudage volant, des échelles de 2 m, des marteaux de maçon, du matériel d'arpentage y compris une mire, des niveaux de maçon et des outils manuels courants tels que des pinces et des tournevis.

Bien que les appareils électroniques soient souvent utiles et dans certains cas absolument nécessaires, ils ne sont pas toujours requis. Les appareils électroniques les plus utilisés sont le détecteur de métal et le fibroscope. Les éléments les plus déterminants dans la réussite d'une analyse sont l'expérience et les connaissances de l'inspecteur.

3.2.1.3 Démarche détaillée

La première étape de l'analyse consiste à vérifier avec soin les dimensions mesurées en tenant compte des tolérances admises par le code en vigueur. Les normes concernant le béton, la maçonnerie, le bois et l'acier auxquelles renvoie le CNB constituent les documents de référence 5 à 22 du présent rapport.

Les tolérances dimensionnelles, d'alignement horizontal, de décalage axial et d'alignement vertical des colonnes et murs en béton doivent être conformes au chapitre 10 de la norme CAN3-A23.1-M77, **Béton - Constituants et exécution des travaux** (voir référence 6).

Les poteaux d'acier et autres éléments tels que les cornières servant de support aux poutres et aux châssis, cornières et tasseaux doivent être positionnés selon les tolérances de l'article 28.7 de la norme CAN3-S16.1-M84, **Charpentes de bâtiment en acier** (voir référence 8).

Les tolérances admissibles pour les éléments en bois sont définies par le document de référence 10, norme CAN3-086-M84, **Règles de calcul des charpentes en bois**.

Les tolérances admissibles pour les murs de maçonnerie sont celles énoncées par l'article 4.3 de la norme CAN3-A371-M84, **Mise en oeuvre de la maçonnerie pour les bâtiments** (voir référence 21). Tout écart par rapport aux niveaux, élévations, lignes de bâtiment, sections, épaisseurs de joints et à l'aplomb doivent être analysés.

3.2.1.4 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il faut généralement une à deux semaines à une équipe de trois personnes pour effectuer une analyse complète de l'étape II telle que décrite dans la présente section.

3.2.1.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Des registres clairs et complets doivent être produits lors de l'inspection. Toutes les zones inspectées doivent être identifiées par le numéro d'étage et leur emplacement.

3.2.2 **Détermination des propriétés des matériaux**

3.2.2.1 Description des techniques

Pour cette phase d'évaluation, on prélève des échantillons de bois, d'acier, de béton et de maçonnerie que l'on confie à un laboratoire pour qu'ils subissent des essais normalisés. Le prélèvement d'échantillons est particulièrement nécessaire lorsque le matériau est détérioré ou douteux.

La plupart des matériaux de construction peuvent être éprouvés et certifiés conformément à des méthodes établies par l'Association canadienne de normalisation ou par d'autres organismes acceptables tels que l'American Society for Testing and Materials (ASTM). Les méthodes d'essai sont décrites en détail dans les normes constituant les documents de référence 3 à 27.

Les normes ACNOR suivantes sont particulièrement importantes :

Essais normalisés du béton.

Les essais du béton doivent être effectués conformément aux exigences de la norme ACNOR A283, **Code de classification des laboratoires d'essai du béton** et aux méthodes d'essai de la norme CAN3–A23.2–M77, **Essais concernant le béton** : détermination de la résistance à la flexion du béton (8C)", ,

Détermination de la résistance à la compression d'éprouvettes cylindriques de béton (9C),

Détermination de l'absorption de l'eau dans le béton (11C), et prélèvement et détermination de la résistance à la compression de carottes de béton (14C) (voir références 6 et 7).

Essais normalisés pour l'acier

Les aciers non identifiés doivent être évalués conformément à la norme intitulée **Exigences générales relatives à l'acier de construction laminé ou soudé** (voir référence 9). Les principales propriétés mécaniques à déterminer sont la limite d'élasticité, la résistance à la rupture et le pourcentage d'allongement.

Essais normalisés pour la maçonnerie

La maçonnerie doit être conforme à la norme CAN3–S304–M84, **Calcul de la maçonnerie pour les bâtiments** (voir référence 11). Les autres normes importantes sont la CAN3–A369.1–M84, **Méthode d'essai de résistance à la compression d'échantillons de maçonnerie**; CAN3–A82.2–M78, **Méthodes d'échantillonnage et d'essai de la brique**; ACNOR A179–M, **Mortier et coulis pour la grosse maçonnerie**; CAN3–A165.1–M–85, **Éléments de maçonnerie en béton**; CAN3–A165.2–M85, **Briques en béton**; et CAN3–A370–M84, **Éléments de liaison de la maçonnerie**.

Essais normalisés pour le bois

Le bois qui n'est pas pourri ni détérioré ne présente généralement aucun problème. Le bois tendre inclus dans la norme CSA 0141–1970 peut être rapidement accepté. L'inspection directe des éléments en bois peut être effectuée à l'aide d'un tube d'échantillonnage à diamètre intérieur réduit, mais un couteau à mastic ou un clou peut aussi être utilisé. Les méthodes à impulsions ultrasoniques peuvent aider dans certains cas (voir l'article 3.3.1.3, Essais aux ultrasons).

3.2.2.2 Équipement

Une perceuse à diamant pour des carottes jusqu'à 100 mm de diamètre, des boites pour l'expédition des échantillons et des formulaires pour leur enregistrement sont nécessaires pour les échantillons de béton. Pour la maçonnerie, un marteau de maçon et un ciseau sont nécessaires. Un chalumeau de découpage ou une perceuse à métaux pour le carottage est nécessaire au prélèvement d'échantillons d'acier. Une scie à bois ou une perceuse avec une mèche découpeuse peut être utilisée pour le prélèvement de bois. Une plateforme élévatrice ou un échafaudage volant peuvent aussi être nécessaires pour atteindre les éléments extérieurs des étages supérieurs.

3.2.2.3 Évaluation

Une fois qu'on connaît suffisamment les propriétés des matériaux grâce aux essais en laboratoire, on peut effectuer des calculs de résistance et de flexion.

3.2.2.4 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

Il faut environ une semaine pour recueillir des échantillons d'un bâtiment où les murs et colonnes présentent des problèmes graves. S'il faut effectuer un carottage de béton ou découper des échantillons d'acier, il faudrait engager un entrepreneur. Les essais sur échantillons doivent être effectués en laboratoire.

3.2.2.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Lorsque l'inspecteur exige que des essais soient effectués, le rapport doit indiquer l'origine et l'état des échantillons ainsi que la méthode d'échantillonnage et tout autre renseignement utile. Les rapports doivent aussi inclure tous les calculs.

3.2.3 Inspection des murs

Les murs bien construits ne posent généralement aucun problème. Pour évaluer leur tenue, il faut trouver les failles de la conception et de la construction.

3.2.3.1 Description des techniques

L'inspecteur devrait commencer son travail en faisant des calques ou imprimés des dessins du bâtiment pour les apporter sur place. Au cours de l'inspection, l'emplacement de toutes les défaillances doit être indiqué sur les dessins. Les dessins doivent aussi indiquer l'emplacement de tous les joints de rupture et de dilatation. Pour s'assurer de déceler tous les problèmes, l'inspecteur devrait se munir d'une liste de vérification basée sur un guide du concepteur (voir référence 29) ou basée sur la liste des défauts potentiels décrits sous chacun des trois types de mur : maçonnerie, parements en béton préfabriqué, et placages de pierre avec charpente en poteaux métalliques. (Voir référence 26 pour des renseignements plus précis sur les murs de maçonnerie extérieurs dans les constructions en hauteur.)

3.2.3.2 Équipement

On peut inspecter plusieurs types de murs de maçonnerie à l'aide d'un marteau de maçon et d'un ciseau, d'une lampe de poche et d'outils manuels de base. Un pachomètre et un fibroscope seront nécessaires dans les cas où une évaluation plus complète est nécessaire. Un échafaudage volant ou autre peut être requis pour examiner les murs des étages supérieurs.

Un fibroscope est un instrument portatif facile à utiliser et il sert à inspecter les éléments dissimulés tels que les ancrages et les attaches de maçonnerie. Basé sur le principe des fibres optiques, cet instrument permet la conduction de lumière par des fibres possédant un indice de réfraction élevé. Un fibroscope commercial est constitué d'un oculaire, d'un tube métallique flexible contenant les fibres et d'une source de lumière. Les options suivantes sont offertes : des tubes jusqu'à 3 mètres de longueur, une caméra et un écran-témoin. Une petite brosse devrait être utilisée pour enlever la poussière.

Une fois qu'on a utilisé le pachomètre pour localiser l'attache ou l'ancrage métallique, on perce un trou de 10 mm de diamètre dans le joint de mortier et dans la cavité. L'extrémité du tube est insérée dans le trou et dirigée vers l'élément à inspecter. Puisque le diamètre minimal de virage est d'environ 75 mm, il faudra percer un trou incliné ou enlever une brique de façon que le tube puisse être mis en position.

Une certaine expérience de l'utilisation du fibroscope peut être nécessaire puisque l'objectif grand angulaire extrême déforme l'image. L'inspecteur devrait s'exercer à regarder de petits objets dans différentes positions tels que des trombones dans des tiroirs de bureau ou des pièces de monnaie dans sa poche de chemise. L'image peut apparaître inversée ou tournée de côté lorsque le tube est tordu ou plié.

3.2.3.3 Évaluation

a) Murs de maçonnerie

La description des problèmes survenant généralement dans les murs de maçonnerie est facilitée par les illustrations des figures 3.2.1 à 3.2.21. Bien que les exemples donnés portent principalement sur les murs creux en maçonnerie et sur les placages de maçonnerie avec charpente structurale d'appui, d'autres formes de murs de maçonnerie peuvent être affectées essentiellement par le même type de problème.

i) Fissures, joints détériorés et briques éclatées, desserrées ou délogées

Les fissures peuvent être dentelées, droites ou diagonales comme le montre la figure 3.2.12. Dans les placages de brique, les fissures peuvent être causées par les conditions suivantes :

- flambage vers l'extérieur du mur de brique au-dessus de l'étanchéité (figure 3.2.12),
- dilatation à un point de saillie dans le mur (figure 3.2.11),
- soulèvement de la fondation (figure 3.2.13),
- déplacement des solives de toit (figures 3.2.14 et 3.2.15),
- déplacement différentiel entre le mur de maçonnerie et la fondation de béton (figure 3.2.16),
- surplomb du parapet (figure 3.2.17),
- dilatation restreinte dans le mur (figure 3.2.18),
- dilatation dans un coin (figure 3.2.19).

Les fissures dans les murs de maçonnerie porteurs ont plusieurs causes:

- déplacement différentiel lorsque des briques et des blocs sont utilisés (figure 3.2.20),
- espacement inapproprié des armatures,
- concentration des efforts aux ouvertures et aux saillies.

Les fissures dans les cloisons intérieures non porteuses ont différentes causes:

- flèches excessives des planchers (figure 3.2.12.d),
- insuffisance compensation pour le retrait des blocs (figure 3.2.21),

- soulèvement du toit dû à l'aspiration par le vent ou à la dilatation thermique du toit si la cloison se sépare verticalement au lieu d'horizontalement (figure 3.2.21).

L'inspecteur doit distinguer les fissures actives des fissures inactives. Des photographies prises lors d'inspections antérieures peuvent être utilisées pour constater l'évolution des problèmes et des détecteurs peuvent être installés pour monitorer les fissures importantes, comme l'illustre la figure 3.2.22.

Les joints de maçonnerie détériorés sont généralement imputables aux causes suivantes :

- incompatibilité des éléments de maçonnerie et du mortier en raison du déséquilibre entre la capacité d'absorption des premiers et la rétention d'eau du mortier. Une compatibilité acceptable est obtenue lorsque les exigences des normes ACNOR sont respectées;
- creusage inapproprié des joints. Tous les joints de mortier des murs extérieurs doivent être concaves ou en V; de plus, les joints creux droits sont interdits. La figure 3.2.23 illustre différents types de joints de mortier;
- insuffisance d'entretien tel que le rejointoiement périodique;
- canaux d'humidité causant une érosion prématurée des joints de mortier.

ii) Armature manquante

L'armature des murs en blocs de béton est constituée d'éléments de type échelle ou de type triangulé dans les joints et/ou de barres verticales dans les alvéoles remplies de coulis. La présence d'armature peut être décelée à l'aide d'un appareil magnétique, de préférence un pachomètre.

Les zones manquant d'armature doivent être indiquées sur les dessins.

Dans les zones sismiques de vitesse 2 et supérieure, il faut s'assurer de la présence d'armature dans les murs non porteurs pour vérifier leur conformité à l'article 4.1.9.3(5) du CNB 1985. On peut déceler la présence d'armature à l'aide d'un dispositif magnétique tel qu'un pachomètre, mais l'enlèvement de quelques briques peut être nécessaire pour connaître la quantité d'acier en place.

L'article 5.8.2, Murs non porteurs, de la norme CAN3-S304 énonce d'autres exigences dont l'inspecteur devra tenir compte.

iii) Défectuosités des solins

Les défectuosités les plus courantes des solins de maçonnerie sont les suivantes:

- solins non spécifiés sur les dessins,
- solins manquants,

- réglet manquant (voir la figure 3.2.1),
- solins endommagés,
- solins perforés, situés au–dessus d'une cornière de support, et par où l'eau s'infiltre en un endroit dissimulé, causant une accumulation de glace qui déloge les briques (voir la figure 3.2.2),
- problèmes au niveau des colonnes et angles (voir la figure 3.2.3).

Toutes les zones où des problèmes sont observés doivent être indiquées sur les dessins.

iv) Chantepleures

Les défauts les plus courants pour ce qui est des chantepleures sont illustrés à la figure 3.2.4. Ces défauts comprennent:

- les chantepleures obstruées,
- l'absence de chantepleures,
- les chantepleures trop espacées (maximum de 600 mm),
- chantepleures trop petites.

Les chantepleures défectueuses peuvent produire un rang de maçonnerie humide au niveau de chaque plancher ou déloger les briques en raison du gel de l'eau dans la cavité. Tous les problèmes concernant les chantepleures doivent être rapportés.

v) Cavité obstruée par l'isolant

L'isolant en panneau doit être solidement fixé à la paroi interne d'un mur à ossature de manière à laisser une lame d'air d'au moins 25 mm. S'il y a défaillance de l'adhésif, l'isolant se décollera comme l'indique la figure 3.2.3. Ce problème ne peut être perçu qu'en enlevant des briques.

vi) Évacuation des eaux vers l'extérieur

La pluie ou la neige fondante ne doit pas s'écouler sur la maçonnerie. Les couronnements et les chaperons doivent être inclinés vers le toit. Les recouvrements sur le chaperons d'un mur en surélévation doivent être d'au moins 75 mm afin d'éviter que la pluie puisse être soufflée sous le chaperon. Le couronnement, les seuils et les appuis de fenêtre devraient être équipés d'un larmier. Les seuils en pierre, en béton ou en métal devraient comporter des parties verticales aux extrémités pour éviter que l'eau s'infiltre latéralement dans le mur. Les figures 3.2.5, 3.2.6 et 3.2.7 illustrent de bons exemples de dispositif d'écoulement des eaux.

vii) Bords de dalle mal alignés

L'écart d'alignement entre les bords de dalles de plancher successives ne doit pas être supérieur à 6 mm, comme le démontre la figure 3.2.4.

Le mésalignement des dalles de plancher peut rapetisser la cavité du mur, rendant la mise en place des solins difficile et causant des problèmes d'isolation mal posée et d'obturation des chantepleures.

viii) Appuis inadéquats

Si le mur de fondation est hors d'alignement par rapport au mur extérieur, il est possible que les briques n'aient pas une surface d'appui adéquate (figure 3.2.8). Un mur extérieur ne doit pas faire saillie de plus de 30 mm par rapport à la fondation.

ix) Attaches manquantes

Des attaches peuvent manquer ou être espacées inégalement. Dans certains cas, des panneaux entiers peuvent être dépourvus d'attaches. Le pachomètre peut servir à déceler la présence des attaches métalliques.

x) Joints de rupture

Dans le cas de longs murs rectilignes, les joints de rupture doivent être espacés d'au plus 12 à 15 mètres dans le cas de la brique et d'au plus 10 mètres pour les parements en blocs de béton.

Des joints de rupture doivent aussi être prévus aux angles comme l'illustre la figure 3.2.24. Les deux côtés d'un joint de rupture devraient être supportés latéralement par des attaches flexibles comme l'illustre la figure 3.2.25.

Des couvre-joint types sont illustrés à la figure 3.2.26. Ils sont généralement constitués d'un fond compressible recouvert d'un produit d'étanchéité flexible. Le couvre-joint et le produit d'étanchéité doivent avoir une capacité de compression suffisante pour s'écraser sous le déplacement de la maçonnerie vers le joint et aussi pour reprendre leur forme lorsque le mouvement est inversé.

Tous les joints de dilatation doivent être fermés pour les protéger contre les précipitations.

L'emplacement des joints de rupture doit être spécifié sur les dessins de construction. Il est déjà arrivé que ces joints aient été remplis de mortier par inadvertance. Ceci peut se vérifier à l'aide d'un canif. L'état du produit d'étranchéité dans les joints de rupture doit aussi être vérifié.

xi) Cornières de support

Les cornières de support, telles qu'illustrées à la figure 3.2.9, doivent supporter la brique à chaque étage. Le jeu de dilatation laissé en-dessous de la cornière devrait être laissé libre ou rempli d'un produit d'étanchéité pour joints flexibles; et le joint à la pointe de la cornière devrait être rejointoyé à l'aide d'un produit d'obturation

flexible plutôt qu'avec du mortier. La hauteur du jeu au-dessous de la cornière doit être d'environ 3 à 6 mm et devrait être vérifiée à l'aide d'un canif.

Les attaches devraient être aussi rapprochées que possible au-dessus et au-dessous de la cornière de support. Comme l'illustre la figure 3.2.10, si les attaches sont à deux assises de blocs d'un côté ou de l'autre de la cornière, et si aucun jeu n'a été prévu au niveau de la cornière, la paroi apparente de briques peut flamber à moins qu'il y ait un joint de construction. Les attaches peuvent être localisées à l'aide d'un pachomètre.

xii) Ancrage des murs en surélévation

Les blocs du mur en surélévation doivent être ancrés dans la dalle de toit comme l'illustre la figure 3.2.6. Le pachomètre peut être utilisé pour vérifier la présence d'armature verticale.

b) Parements préfabriqués et placages de pierres

La corrosion des ancrages reliant le mur à la structure constitue le problème le plus fréquent que posent les parements en béton préfabriqués et les placages de pierres. Les figures 3.2.27 et 3.2.28 illustrent les détails types des ancrages respectivement pour les bardages en béton préfabriqué et pour différents types de placages de pierres.

Si certains éléments de maçonnerie sont tombés ou qu'on redoute la corrosion des ancrages, plusieurs des éléments devraient être enlevés de façon que l'ancrage puisse être inspecté. Un essai d'arrachement devrait être effectué sur plusieurs ancrages si l'on suspecte que leur état laisse à désirer.

Si les ancrages sont accessibles sans enlever d'éléments de maçonnerie, un fribroscope peut être inséré derrière ces éléments pour déceler la corrosion des ancrages.

c) Murs à placage de briques avec charpente en poteaux d'acier.

Les murs à placage de briques sont constitués d'une paroi extérieure en brique reliée à la charpente porteuse par des attaches métalliques et isolée et séparée de la charpente par une lame d'air. On les retrouve souvent dans les édifices de faible, moyenne et grande hauteur. Puisque le placage et la charpente de fond ne sont reliés que par des attaches, les deux parois réagissent indépendamment sous les charges. De nombreux matériaux de fond, y compris la maçonnerie, le béton, le bois et les poteaux d'acier sont utilisés.

Dans les édifices à plusieurs étages, les charpentes de fond en poteaux d'acier avec placage de briques ont soulevé bien des controverses. Bien que les fabricants de poteaux d'acier soutiennent qu'ils ont effectué des recherches prouvant que le système est adéquat, les détracteurs de ces systèmes se plaignent qu'ils sont trop flexibles, ce qui est la cause de fissures dans les joints de mortier. La pluie soufflée par le vent peut s'infiltrer dans ces fissures et causer la corrosion des attaches métalliques.

L'inspecteur évaluant la tenue des placages de briques devrait examiner toutes les sources possibles de défaillance : malfaçon, infiltrations d'eau, attaches pliées ou rouillées, fissures dans le mortier, qualité insuffisante du mortier particulièrement en ce qui concerne sa perméabilité à l'eau, flexibilité excessive du mur, exposition aux vents dominants considérant la pression sur les bâtiments voisins, poteaux ayant des vis manquantes ou mal placées, gouttes de mortier formant des ponts d'humidité ou obstruant les chantepleures, solins défectueux, poteaux de résistance insuffisante aux fenêtres où des poteaux doubles ou plus résistants sont recommandés, et poteaux sous-dimensionnés.

De toutes ces causes de défaillance, la corrosion des attaches est la plus importante. Les attaches peuvent être localisées à l'aide d'un pachomètre et inspectées à l'aide d'un fibroscope. Si la corrosion est évidente, en particulier à l'assemblage fileté au poteau, des briques devraient être enlevées pour permettre une inspection plus complète du mur.

3.2.3.4 Moment de l'évaluation et ressources à prévoir

L'inspection des murs d'un bâtiment de 10 000 m² peut demander une semaine de travail à une équipe de deux personnes.

3.2.3.5 Documentation: établissement et classement des documents de travail

Des registres complets de l'inspection doivent être tenus. Un rapport accompagné des dessins d'inspection étiquetés, des conclusions et d'une analyse des résultats devrait suivre l'inspection.

3.3 ÉTAPE III - MONITORAGE DÉTAILLÉ ET SPÉCIALISÉ

Lorsque la gravité ou l'ampleur du problème le justifie, on peut avoir recours à des essais nécessitant une instrumentation complexe. Ces essais nécessitent du matériel spécialisé et beaucoup d'efforts et de préparation. Il n'est pas rare que des essais complexes des murs et poteaux soient nécessaires.

Lorsque des murs, des poteaux ou d'autres éléments structuraux ont été endommagés, une analyse spéciale est nécessaire pour évaluer la stabilité générale du bâtiment. Cette méthode consiste à évaluer la résistance réelle des matériaux, à mesurer les dimensions des éléments structuraux et à recalculer la marge de sécurité et la résistance du bâtiment à partir des nouvelles valeurs et, dans des cas extrêmes, à effectuer des essais de charge complets ou partiels de la structure.

3.3.1 Essais non destructifs

Des essais non destructifs sont entrepris dans le but d'évaluer les propriétés réelles des matériaux de construction. Ces essais comprennent :

- la détermination approximative de la résistance in-situ des matériaux,
- la localisation des points de défectuosité dans les matériaux, tels que les nids de gravier dans le béton, les fissures dans l'acier et les pourritures dans le bois,
- la détermination approximative de la détérioration des matériaux telle que les fissures et la dégradation chimique,
- l'emplacement des barres d'acier.

Les méthodes d'essai non destructives sont décrites dans le document D31 intitulé Dalles et toits structuraux : relevé de la condition. Nous nous limiterons à donner un résumé de certains de ces essais.

3.3.1.1 Essai au scléromètre (Marteau Schmidt)

Il s'agit d'un essai de dureté superficielle qui permet d'évaluer approximativement la dureté de la surface et il constitue une manière rapide et facile de vérifier l'uniformité du béton. Cet instrument mesure le rebond d'une tige projetée par un ressort, après qu'il a frappé une surface de béton unie. La lecture du rebond donne une indication de la résistance du béton. Cet essai n'est pas assez précis pour fournir des valeurs de résistance afin de déterminer la capacité des éléments, mais elle constitue une technique peu coûteuse pour déterminer l'uniformité du béton et pour comparer les bétons en différents endroits de la structure du bâtiment. (Voir référence 2, article 3.3.2.)

3.3.1.2 Essai à la sonde Windsor

Comme l'essai au scléromètre, l'essai à la sonde Windsor détermine la dureté du béton et fournit une manière rapide de connaître la résistance relative du béton. Pour cet essai, un pistolet est déclenché par une charge de poudre précisément mesurée afin de faire pénétrer une sonde (aiguille) d'alliage durcie dans le béton. On mesure par la suite la longueur exposée de l'aiguille avec un pied à coulisse et on établit la relation à la résistance en compression du béton à l'aide d'une table de calibrage. Le chapitre 3 du document intitulé 'Testing Hardened Concrete: Non-destructive Methods' (référence 27) donne des détails supplémentaires sur cet essai.

3.3.1.3 Essais dynamiques ou par vibration

Les essais dynamiques ou par vibration sont basés sur le principe fondamental que l'on peut mesurer la vitesse du son dans un solide (1) en déterminant la fréquence de résonnance d'un échantillon ou (2) en mesurant la durée de propagation de courtes impulsions sonores dans un échantillon. Ces essais aux ultrasons permettent de déterminer approximativement certaines des propriétés des matériaux, entre autres les suivantes: l'homogénéité du béton ou du bois; la présence de vides, de fissures ou de nids de gravier dans le béton; les changements causés par le feu, le gel ou l'attaque chimique; la résistance du béton; et l'épaisseur des dalles. Ces essais sont généralement effectués à l'aide d'un appareil PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester), qui mesure le temps de transmission d'une impulsion traversant le matériau.

D'autres essais sont effectués au calibre électronique pour mesurer l'épaisseur des plaques d'acier.

3.3.1.4 Essai au pachomètre

Cet appareil de détection magnétique fonctionnant à batterie mesure l'épaisseur de recouvrement de béton sur l'armature d'acier et détecte la position des barres d'armature. Il sert à éviter de couper l'armature lorsqu'on effectue un prélèvement de carottes de béton ou pour localiser les attaches de maçonnerie, les ancrages et les armatures triangulées ou de type échelle dans les murs de blocs.

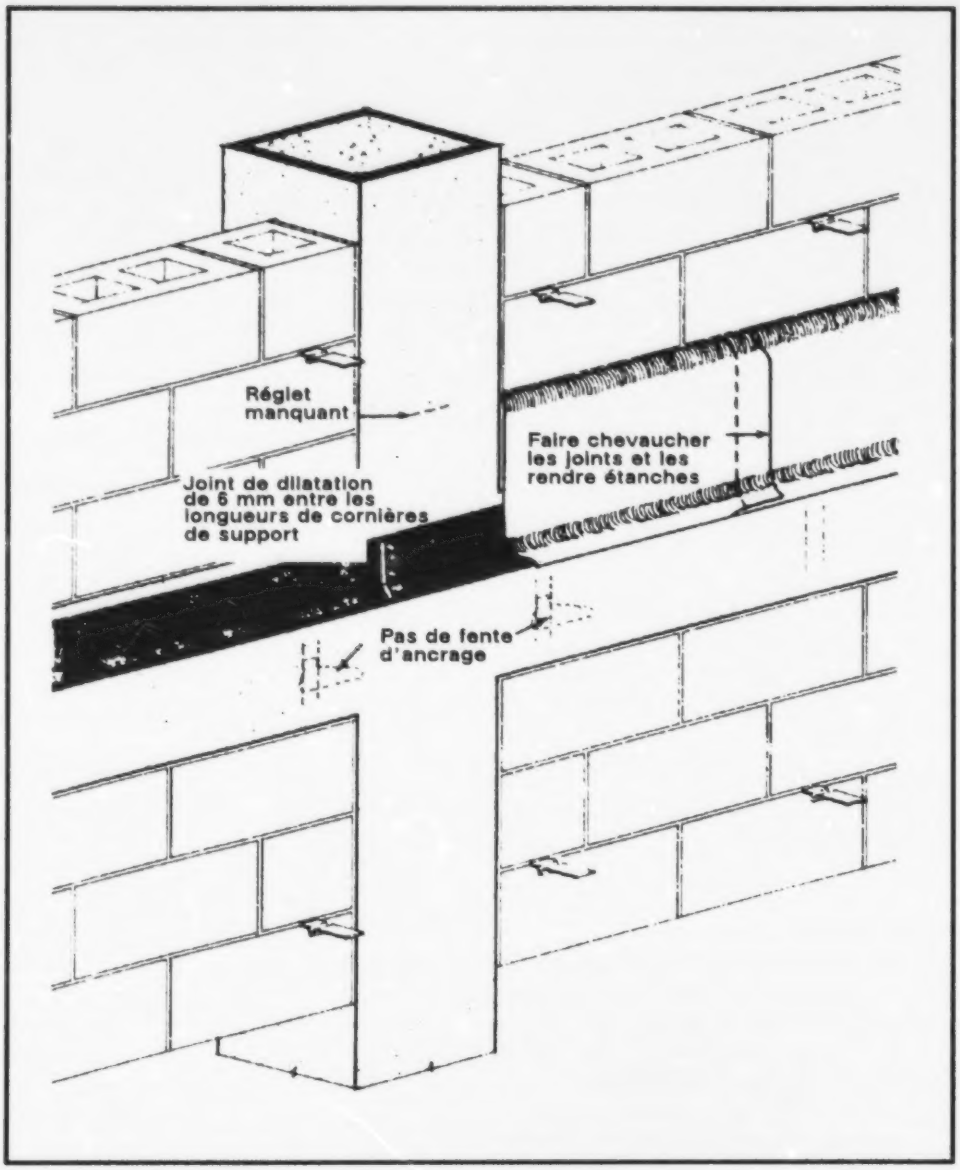

Réglet manquant
Faire chevaucher les joints et les rendre étanches
Joint de dilatation de 6 mm entre les longueurs de cornières de support
Pas de fente d'ancrage

Figure 3.2.1 Colonne avec retrait manquant pour recevoir le solin

- Un réglet oublié est souvent la cause d'une couverture à l'extrémité d'un solin
- Les ancrages manquants laissent une distance verticale allant jusqu'à 120 mm sans ancrage.

Courtoisie de la SCHL

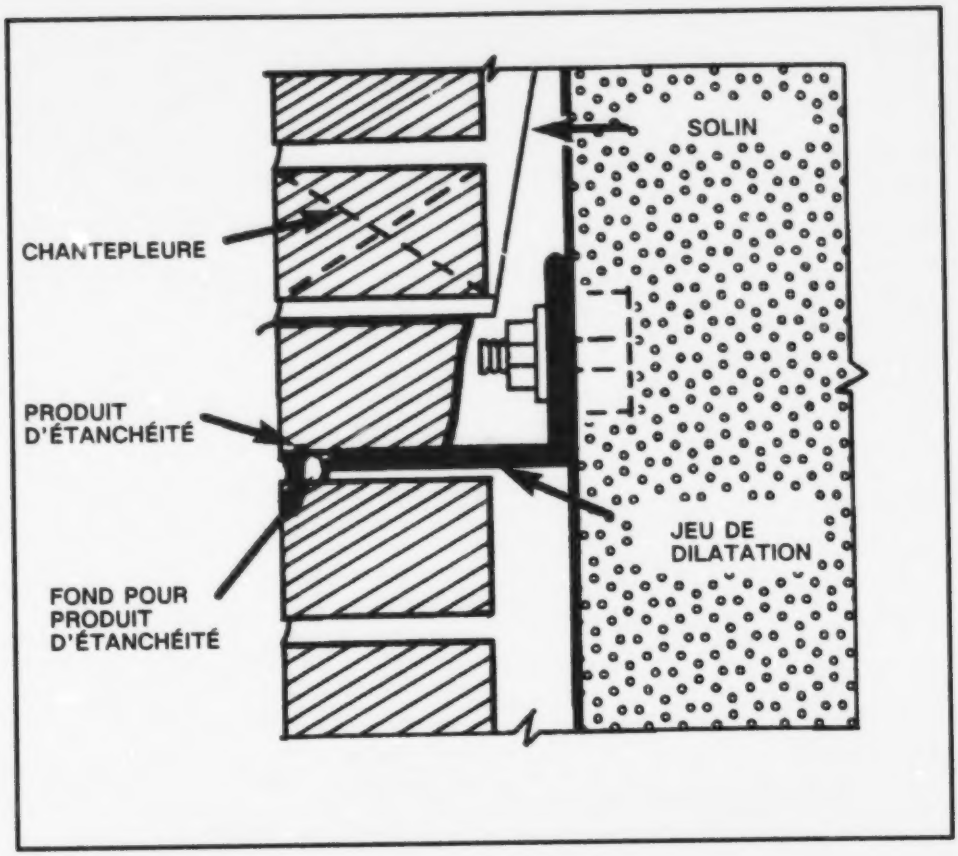


Figure 3.2.2 Défectuosité du solin situé près d'une cornière de support

Solin posé au-dessus de la cornière de support pour éviter un boulon.

Courtoisie de la SCHL

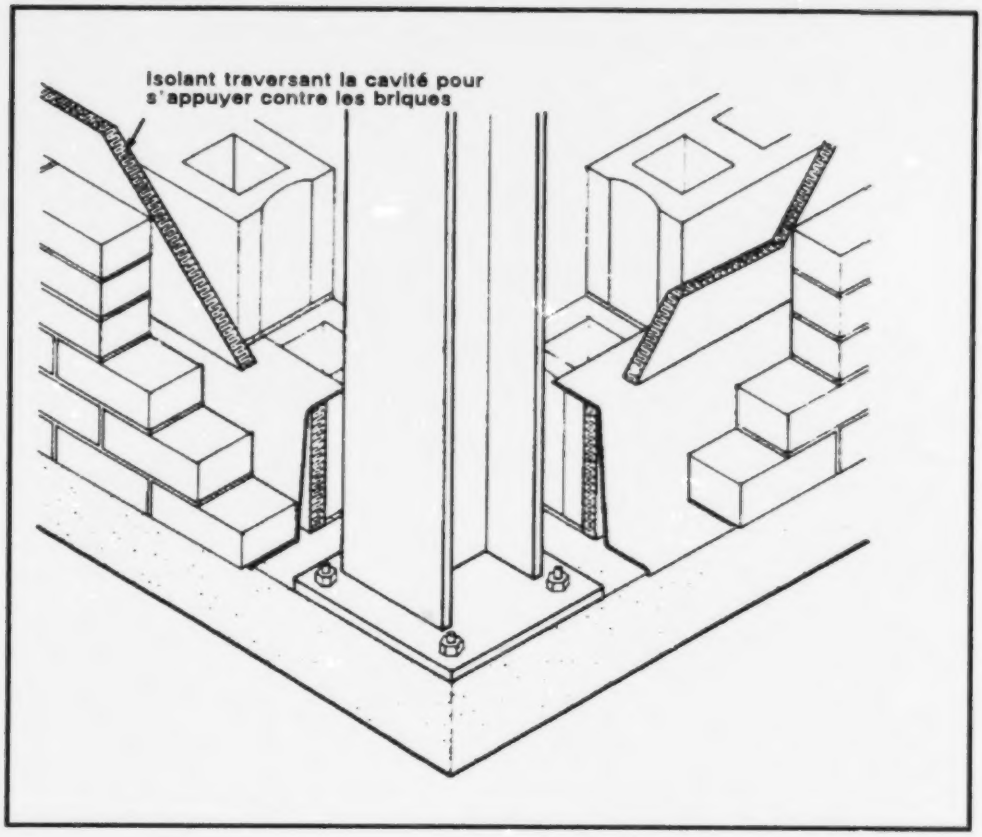


Figure 3.2.3 Interruptions dans le solin causées par la présence d'une colonne

Il est facile de visualiser comment les infiltrations peuvent survenir lorsqu'on examine les détails tels que celui-ci.

Il est difficile:

- de poser du solin autour de la colonne
- d'ancrer les blocs
- de réaliser un pare-air
- de maintenir la cavité
- de poser le placage
- de maintenir une barrière thermique continue

Courtoisie de la SCHL

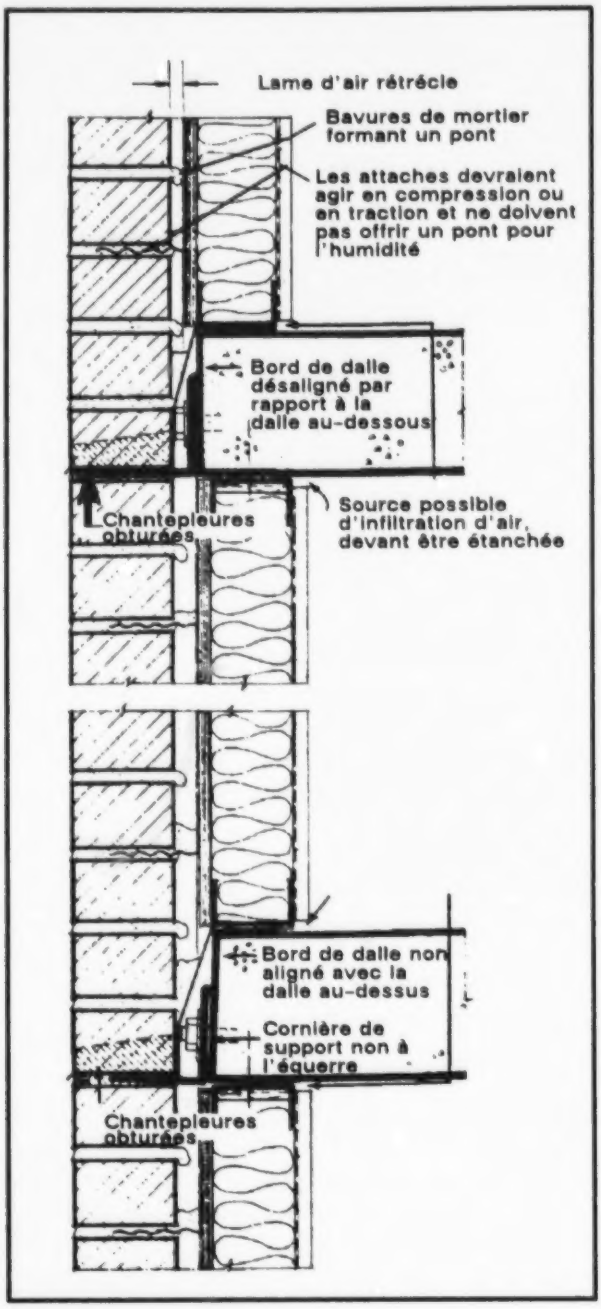

Lame d'air rétrécie
Bavures de mortier formant un pont
Les attaches devraient agir en compression ou en traction et ne doivent pas offrir un pont pour l'humidité
Bord de dalle désaligné par rapport à la dalle au-dessous
Chantepleures obturées
Source possible d'infiltration d'air, devant être étanchée
Bord de dalle non aligné avec la dalle au-dessus
Cornière de support non à l'équerre
Chantepleures obturées

Figure 3.2.4 Chantepleures déficientes

Chantepleures obturées et bords de dalle désalignés.

Courtoisie de la SCHL

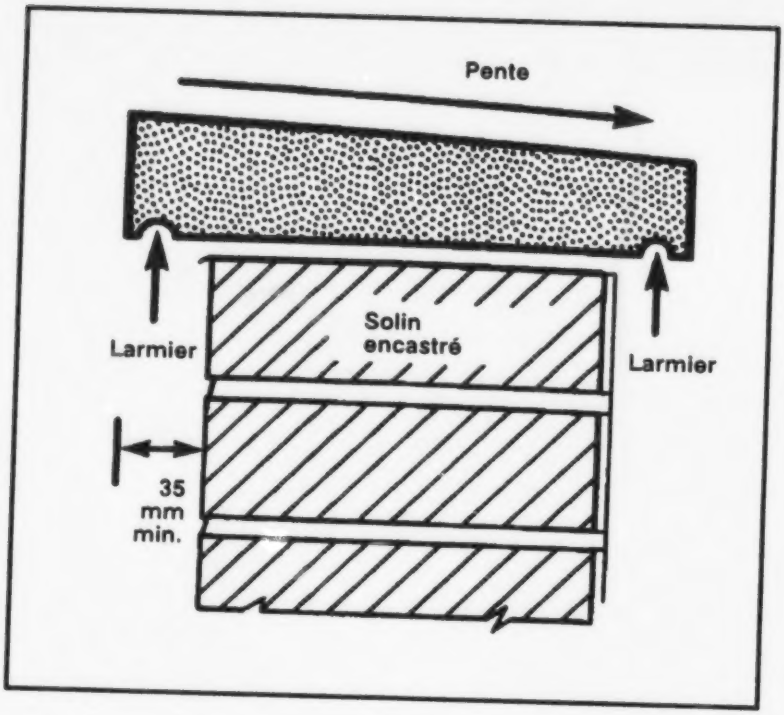


Figure 3.2.5 Détails d'un solin de recouvrement

Solin de mur en surélévation au-dessous d'un couronnement de toit perméable ou segmenté.

Courtoisie de la SCHL

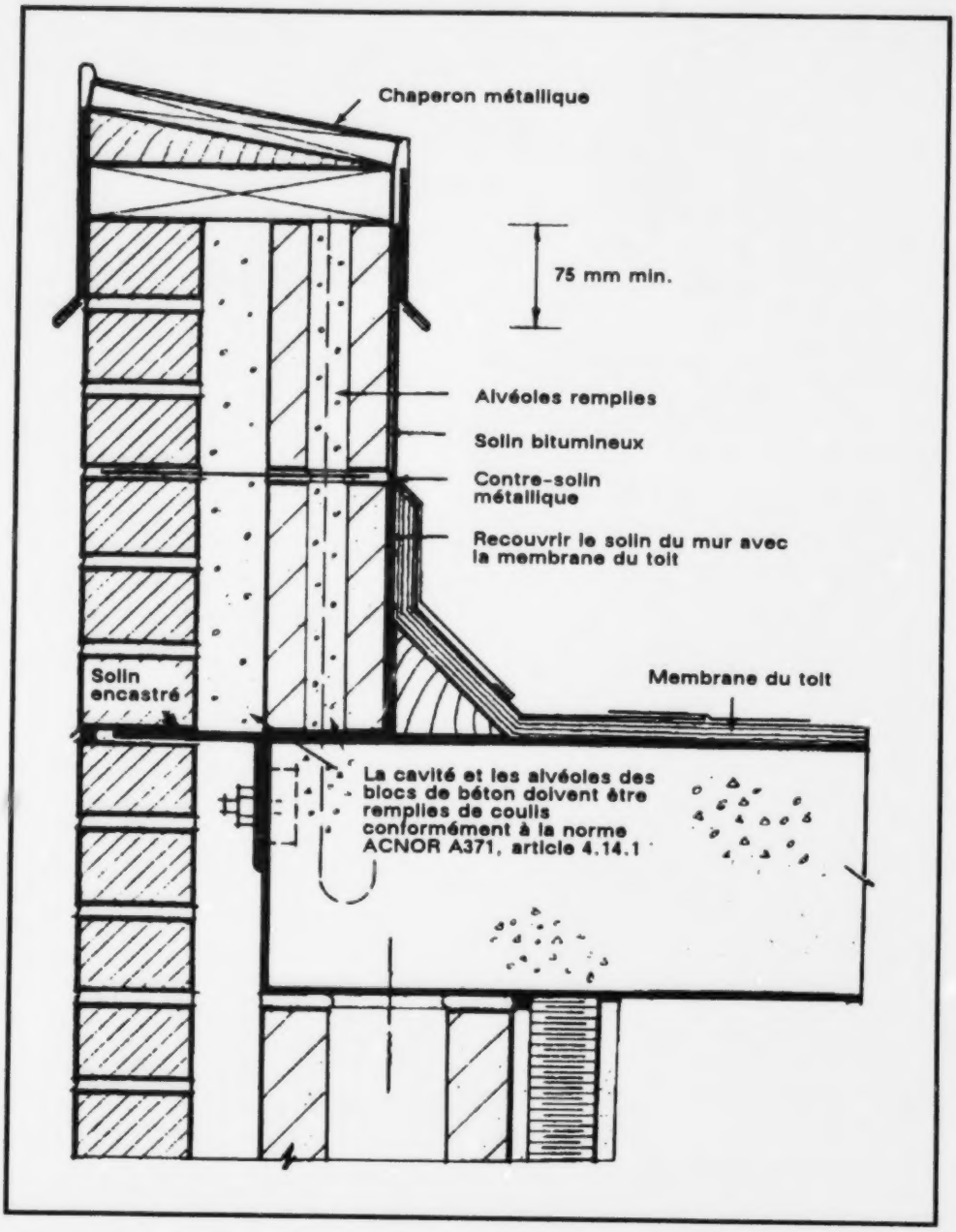

Chaperon métallique
75 mm min.
Alvéoles remplies
Solin bitumineux
Contre-solin métallique
Recouvrir le solin du mur avec la membrane du toit
Solin encastré
Membrane du toit
La cavité et les alvéoles des blocs de béton doivent être remplies de coulis conformément à la norme ACNOR A371, article 4.14.1

Figure 3.2.6 Détail d'un solin posé à un parapet

Solin d'un mur en surélévation constitué d'éléments de maçonnerie pleins ou d'éléments creux dont les alvéoles ont été remplies de coulis.

Courtoisie de la SCHL

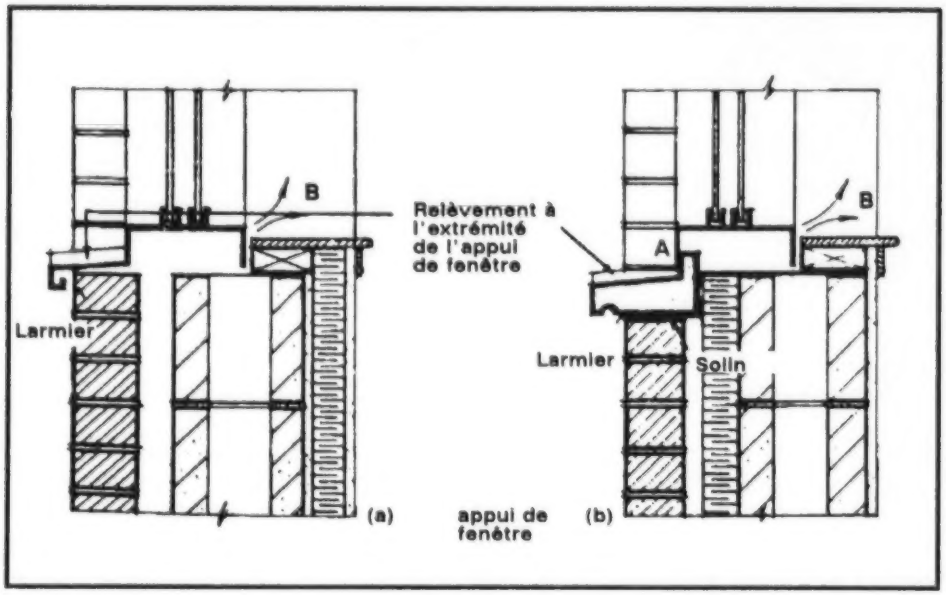


Figure 3.2.7 Détails d'un appui de fenêtre

Infiltration d'air au joint fenêtre–mur.

Courtoisie de la SCHL

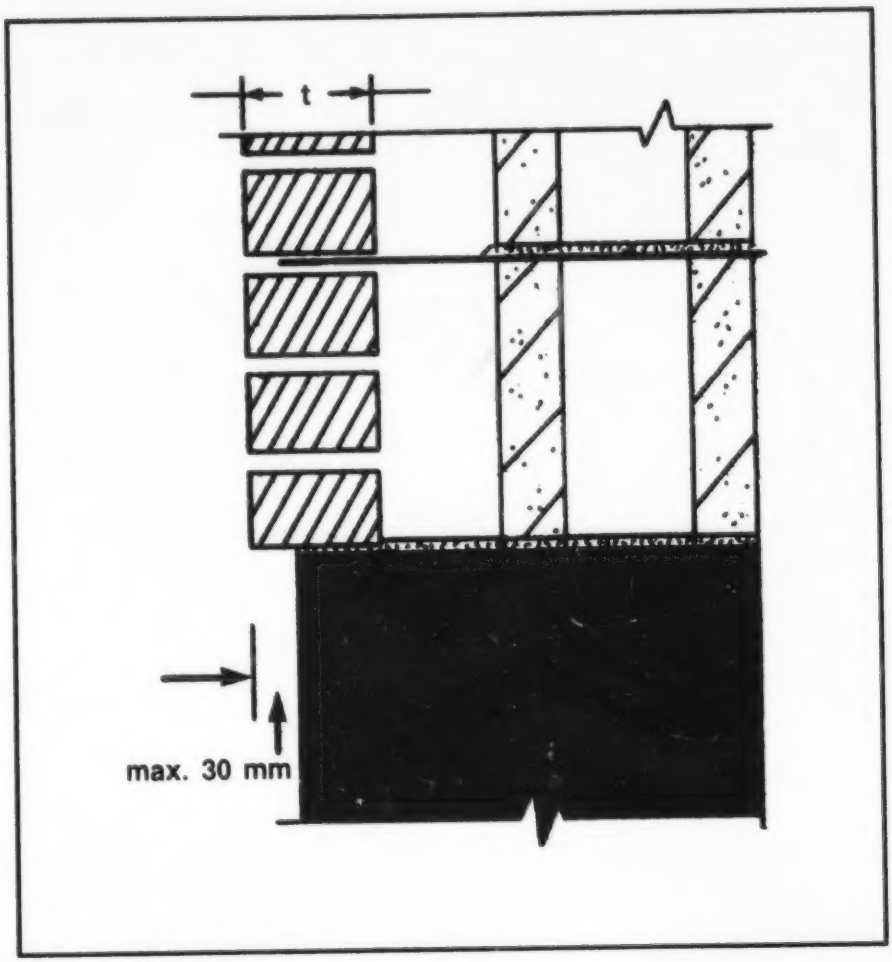


Figure 3.2.8 Exemple de support inadéquat

Exemple d'appui pour un placage de maçonnerie.

Courtoisie de la SCHL

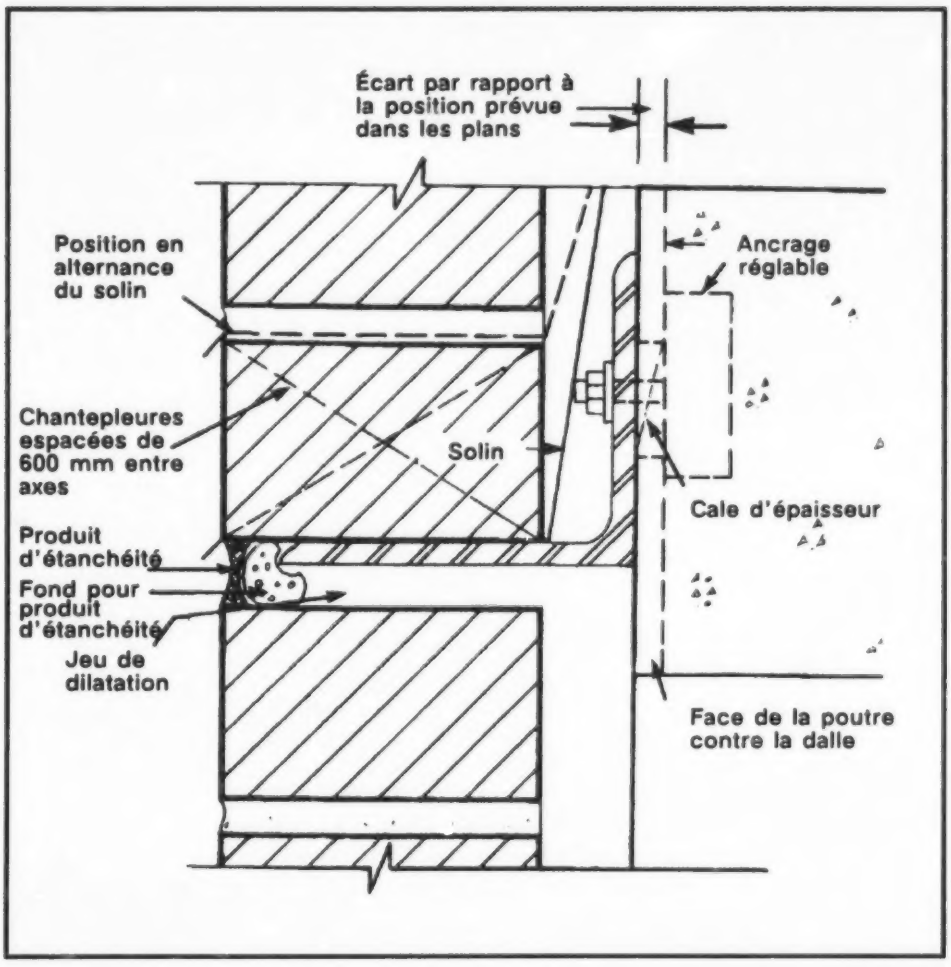

Écart par rapport à la position prévue dans les plans
Position en alternance du solin
Ancrage réglable
Chantepleures espacées de 600 mm entre axes
Solin
Cale d'épaisseur
Produit d'étanchéité
Fond pour produit d'étanchéité
Jeu de dilatation
Face de la poutre contre la dalle

Figure 3.2.9 Détails du joint à la cornière de support

Détail du produit d'obturation des joints et du jeu de dilatation au niveau d'une cornière de support.

Courtoisie de la SCHL

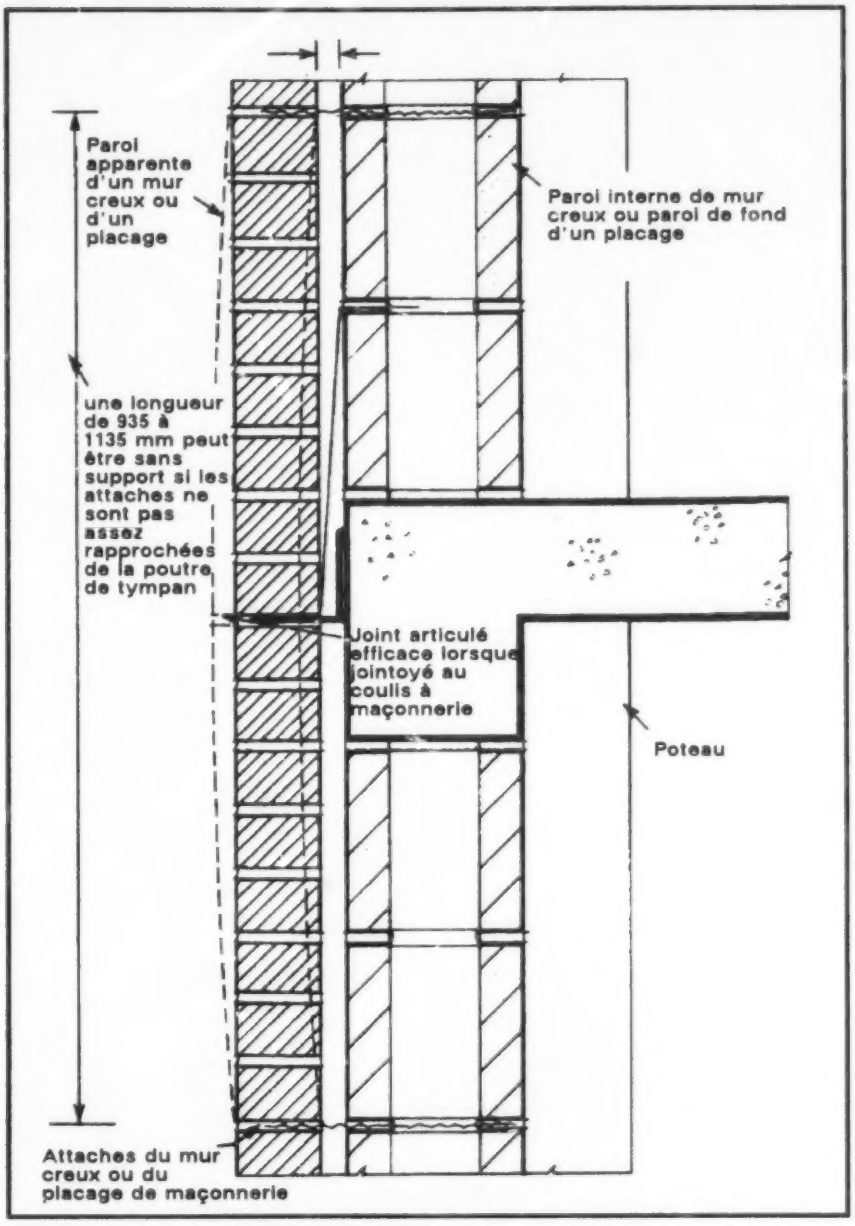

Paroi apparente d'un mur creux ou d'un placage
Paroi interne de mur creux ou paroi de fond d'un placage
une longueur de 935 à 1135 mm peut être sans support si les attaches ne sont pas assez rapprochées de la poutre de tympan
Joint articulé efficace lorsque jointoyé au coulis à maçonnerie
Poteau
Attaches du mur creux ou du placage de maçonnerie

Figure 3.2.10 Flambage du mur de brique

Mur creux type et placage de maçonnerie illustrant une possibilité de flambage si aucun mouvement n'a été prévu dans le joint au-dessous de la cornière de support.

Courtoisie de la SCHL

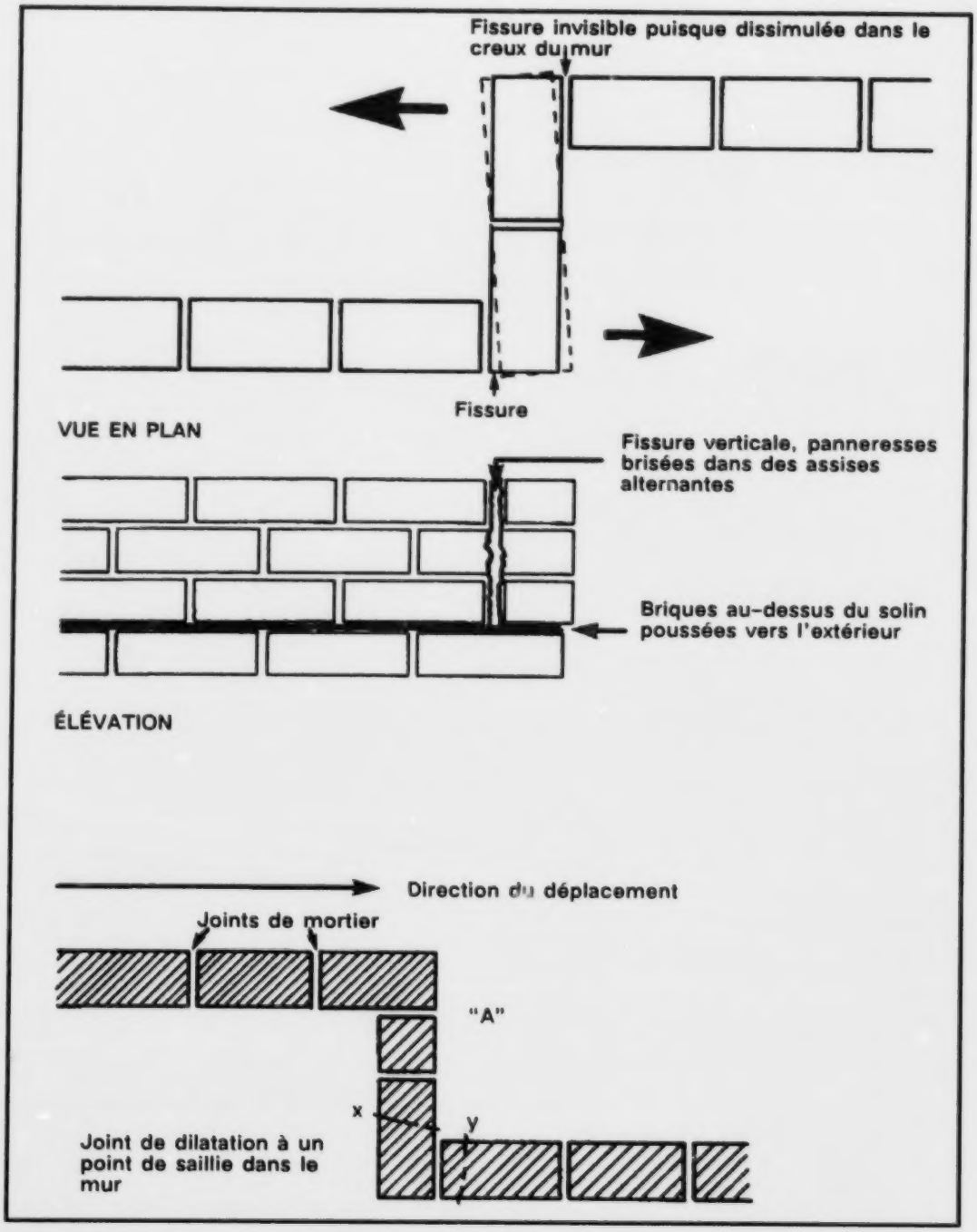

Fissure invisible puisque dissimulée dans le creux du mur
Fissure
VUE EN PLAN
Fissure verticale, panneresses brisées dans des assises alternantes
Briques au-dessus du solin poussées vers l'extérieur
ÉLÉVATION
Direction du déplacement
Joints de mortier
"A"
x
y
Joint de dilatation à un point de saillie dans le mur

Figure 3.2.11 Briques craquelées par le mouvement d'expansion du mur

Illustration d'une fissure dans un coin.

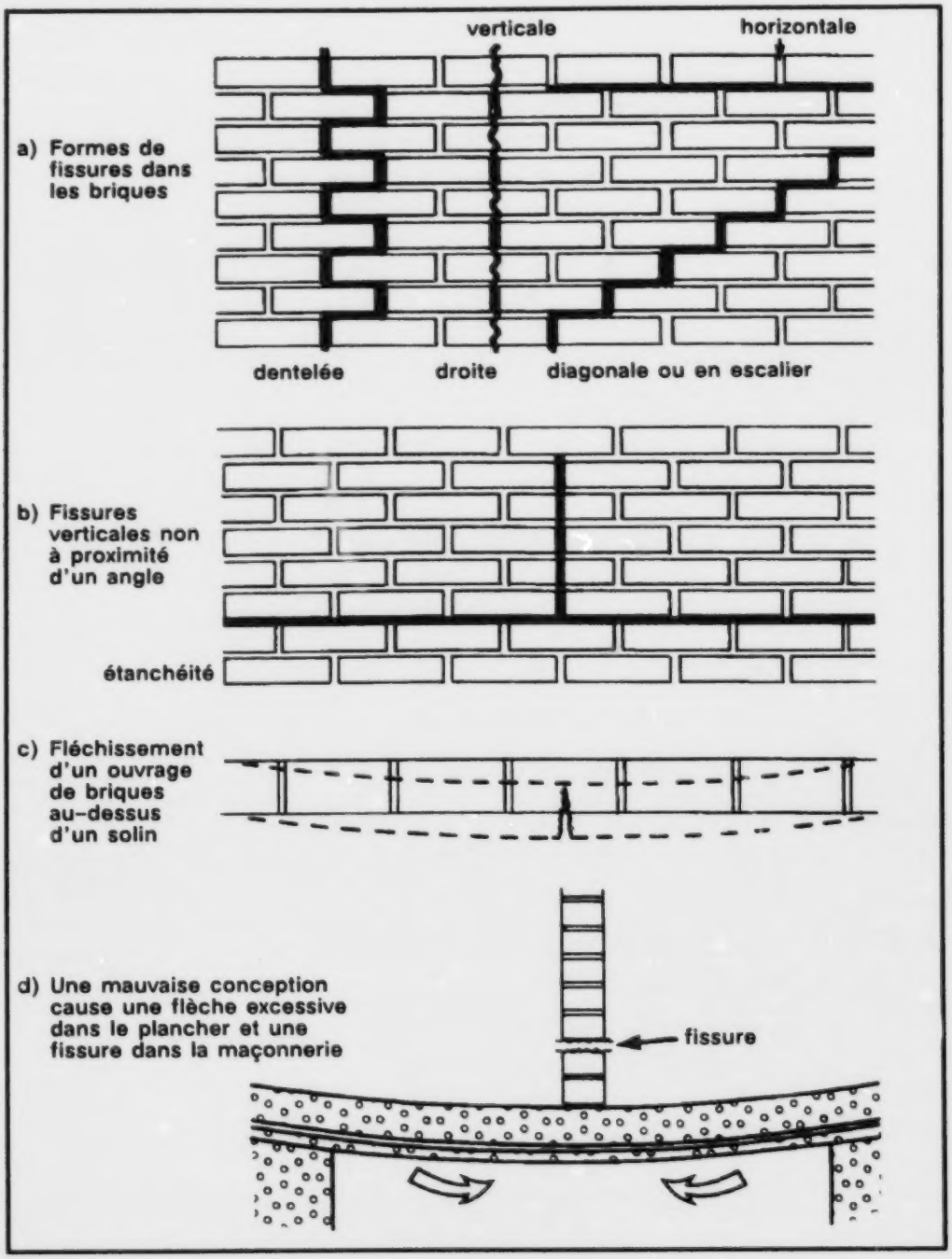

verticale
horizontale
a) Formes de fissures dans les briques
dentelée
droite
diagonale ou en escalier
b) Fissures verticales non à proximité d'un angle
étanchéité
c) Fléchissement d'un ouvrage de briques au-dessus d'un solin
d) Une mauvaise conception cause une flèche excessive dans le plancher et une fissure dans la maçonnerie
fissure

Figure 3.2.12 Types de fissures dans les murs de maçonnerie

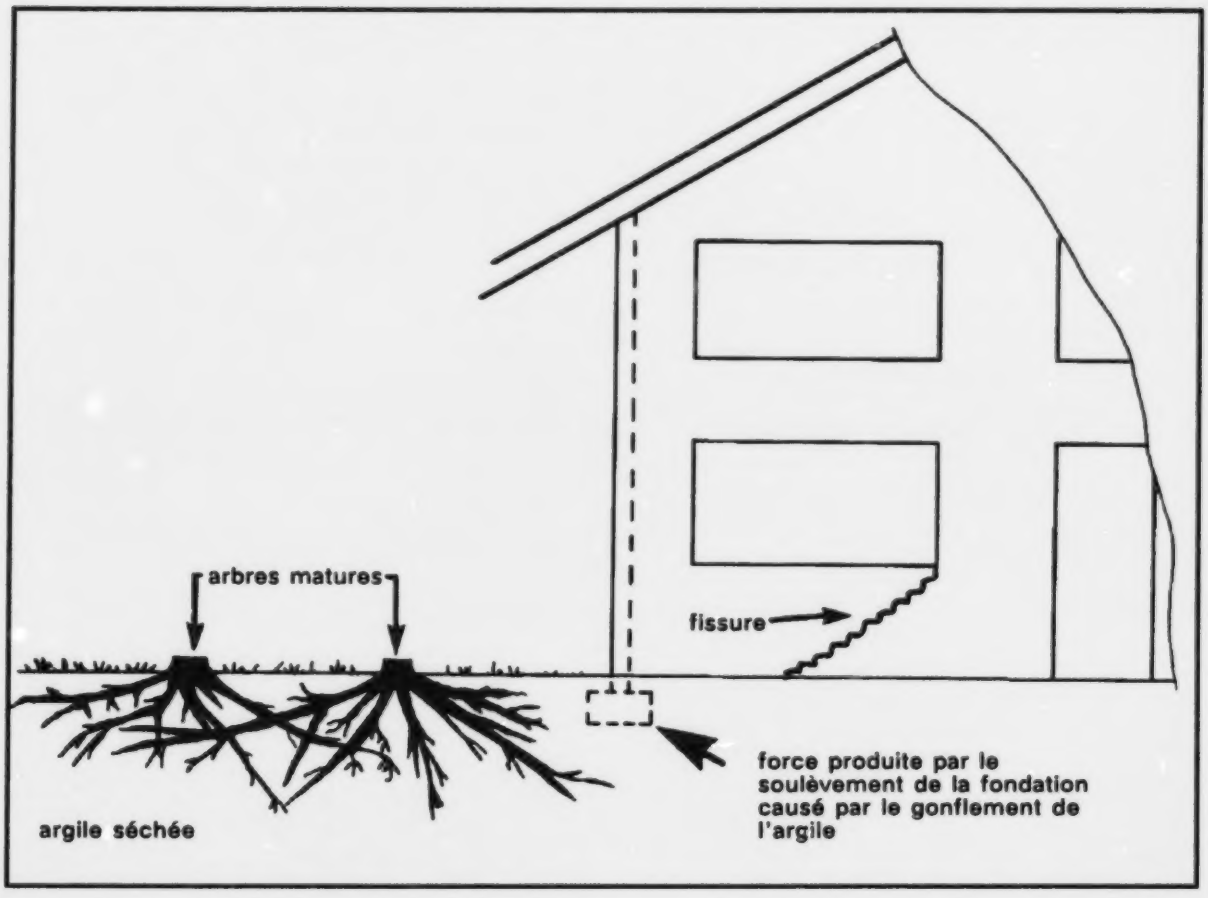

arbres matures
fissure
force produite par le soulèvement de la fondation causé par le gonflement de l'argile
argile séchée

Figure 3.2.13 Fissuration due au gonflement de l'argile séchée

La terre s'était conservée sèche par des racines des arbres.

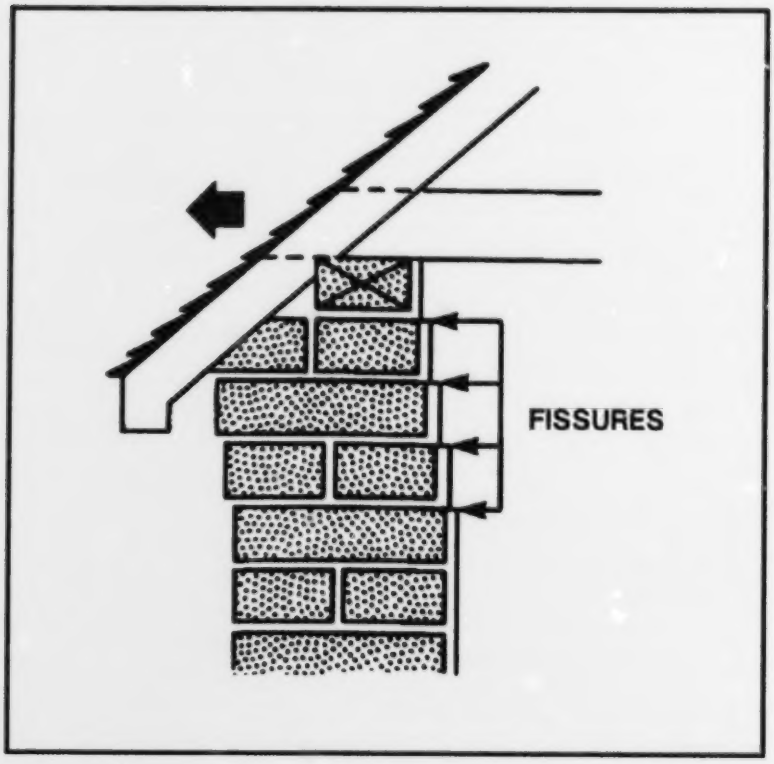


Figure 3.2.14 Effet du déplacement vers l'extérieur des solives de toit (expansion du toit)

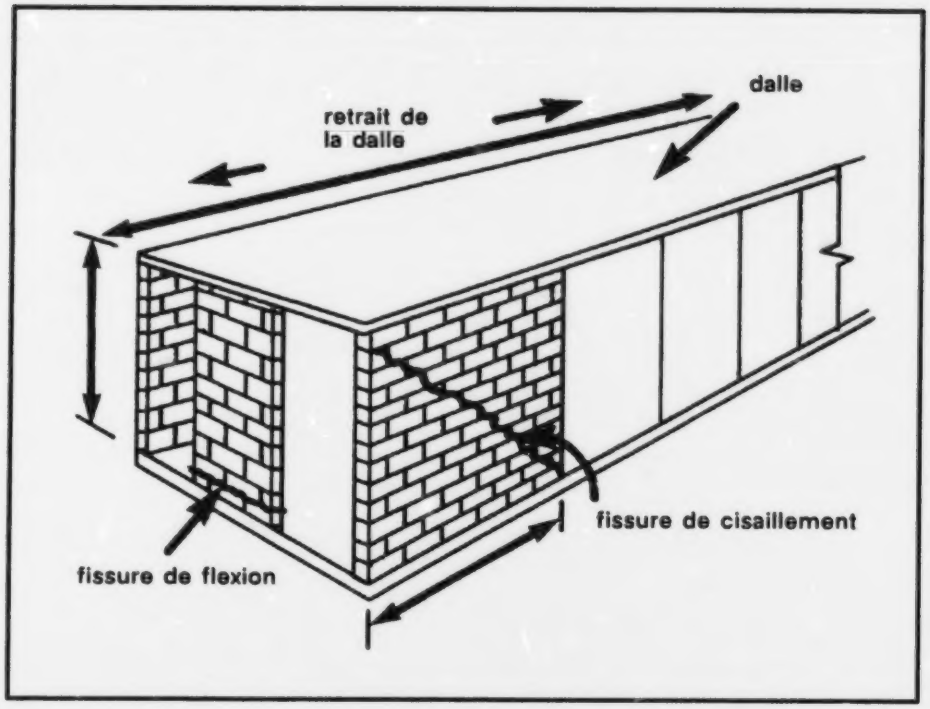


Figure 3.2.15 Fissures de cisaillement ou de flexion dans les murs longitudinaux et fissures de flexion dans les murs transversaux

Elles sont produites par le retrait des dalles de béton supportées par des murs de briques porteurs.

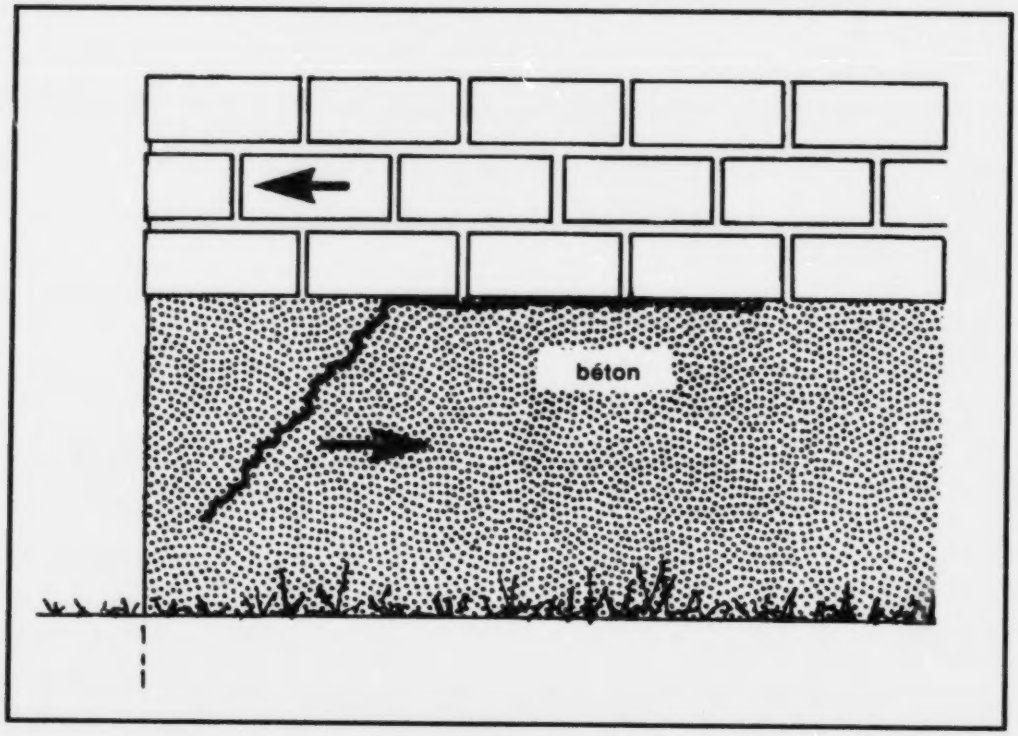


Figure 3.2.16 Fissures dues à un déplacement différentiel entre une maçonnerie de briques et une fondation de béton porteuse.

Le béton subit un retrait et la maçonnerie se dilate en raison de l'humidité.

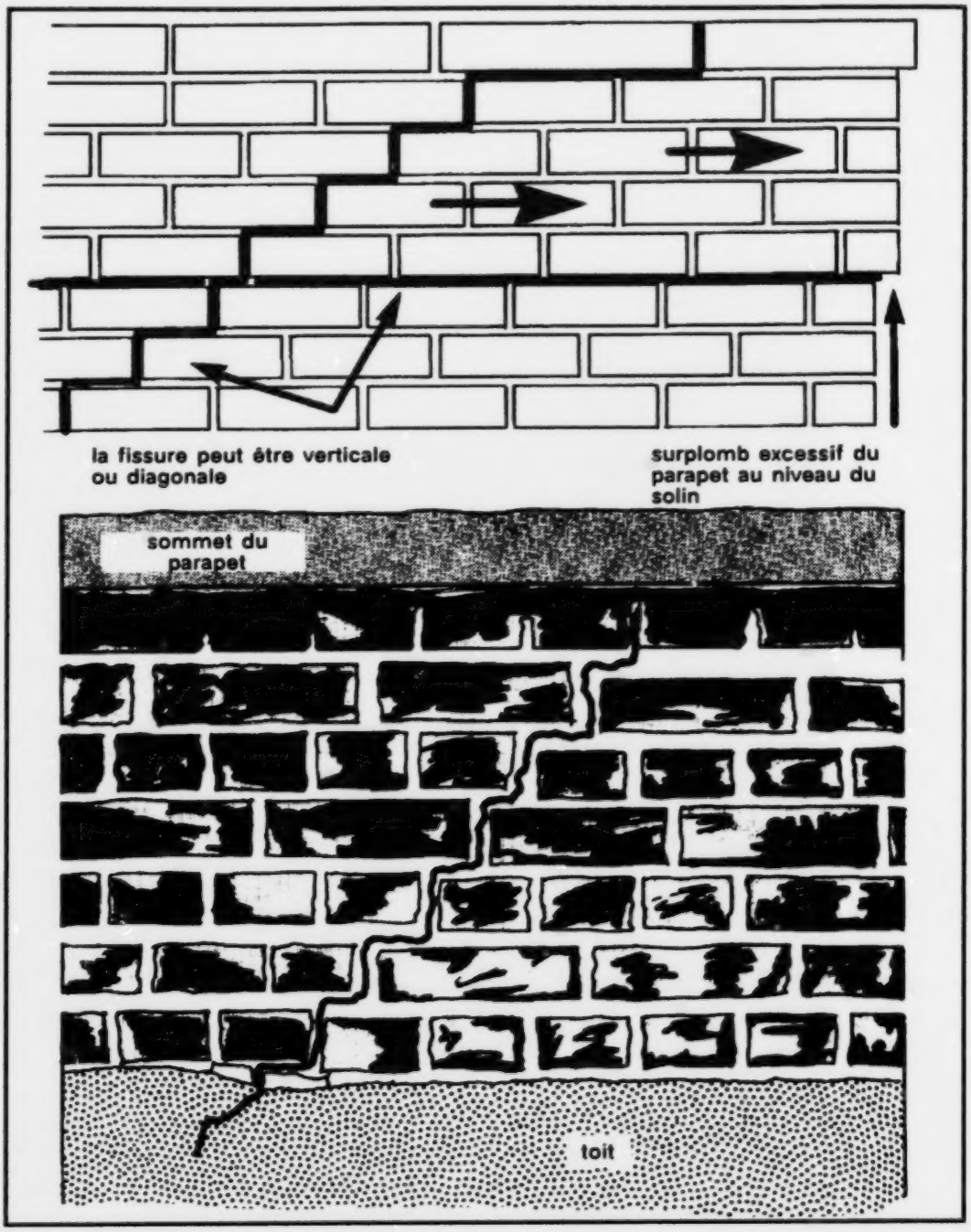


Figure 3.2.17 Damage causé à un parapet

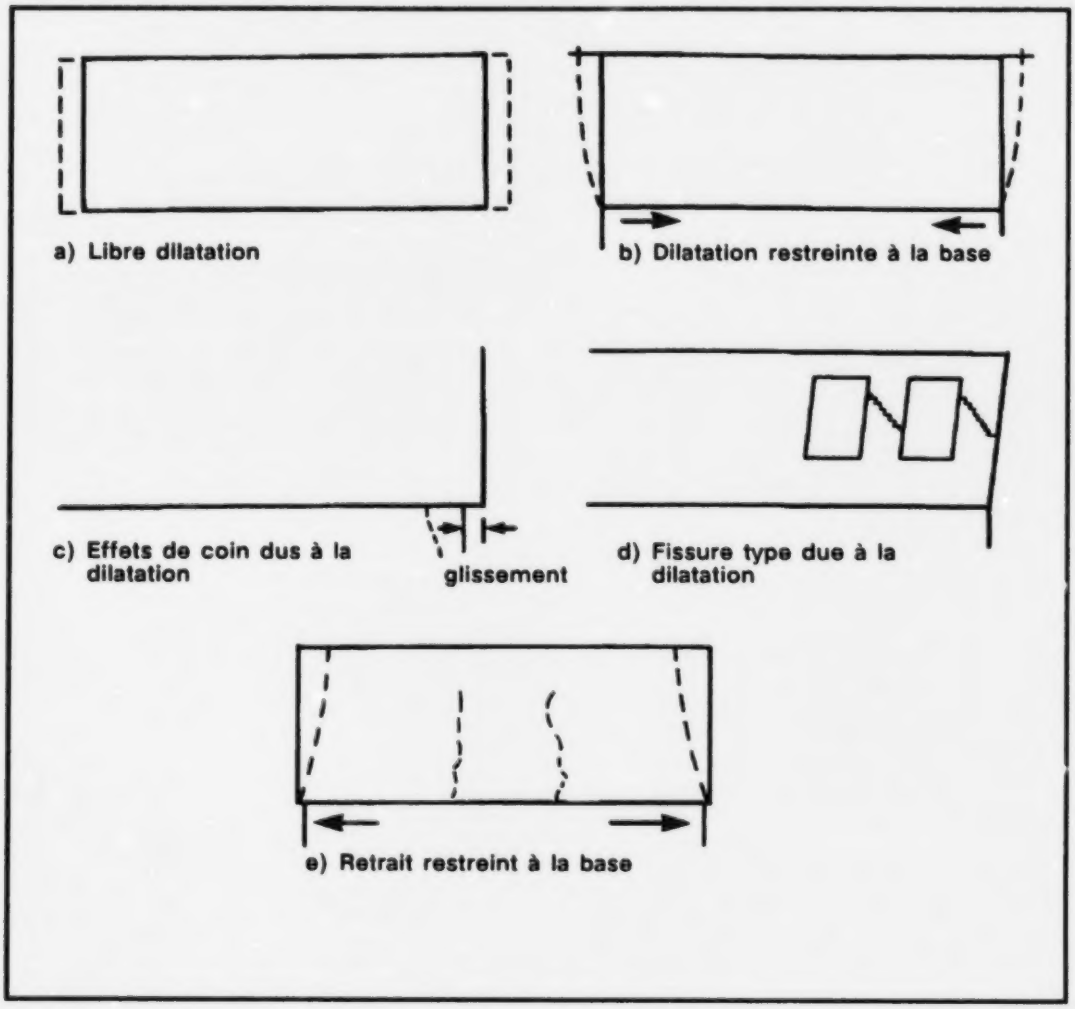

a) Libre dilatation
b) Dilatation restreinte à la base
c) Effets de coin dus à la dilatation
glissement
d) Fissure type due à la dilatation
e) Retrait restreint à la base

Figure 3.2.18 Effets de la dilatation et du retrait sur les murs bas de maçonnerie

Courtoisie de la SCHL

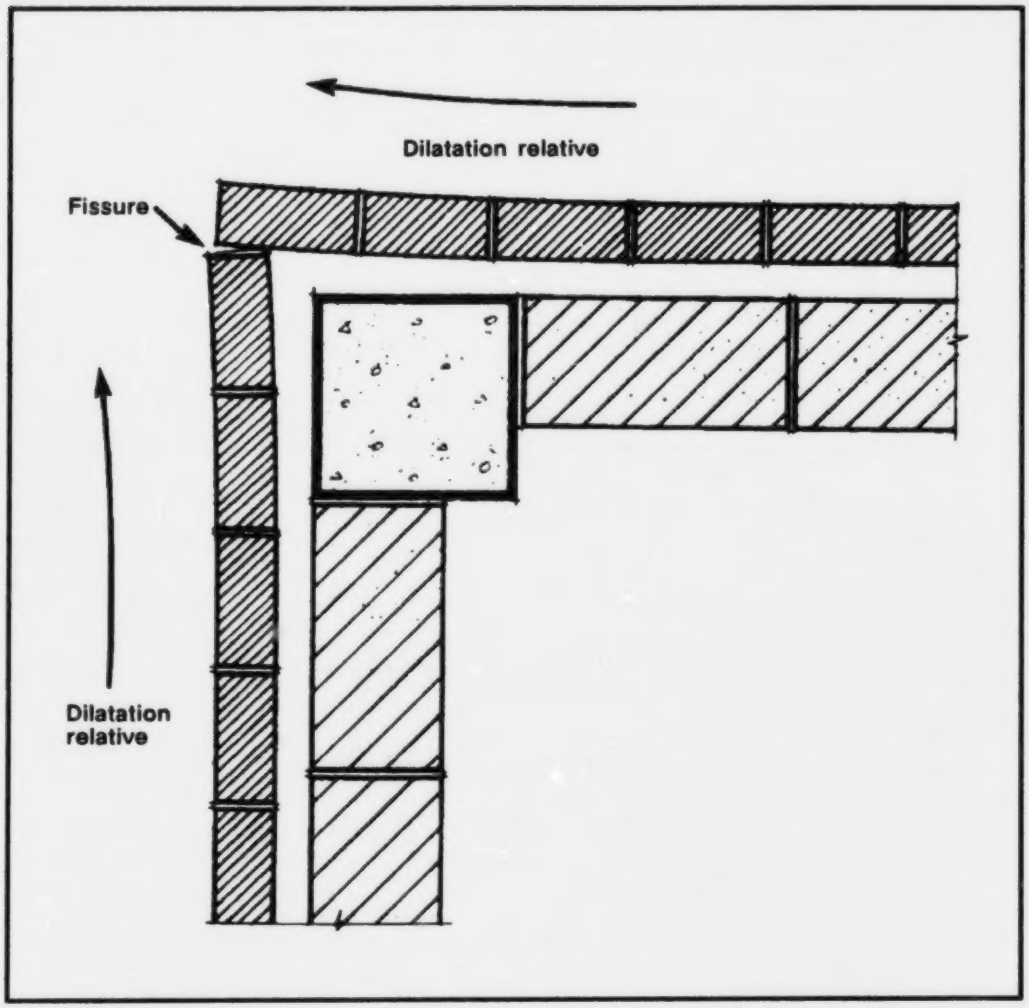


Figure 3.2.19 Effet de la dilatation dans un coin

Courtoisie de la SCHL

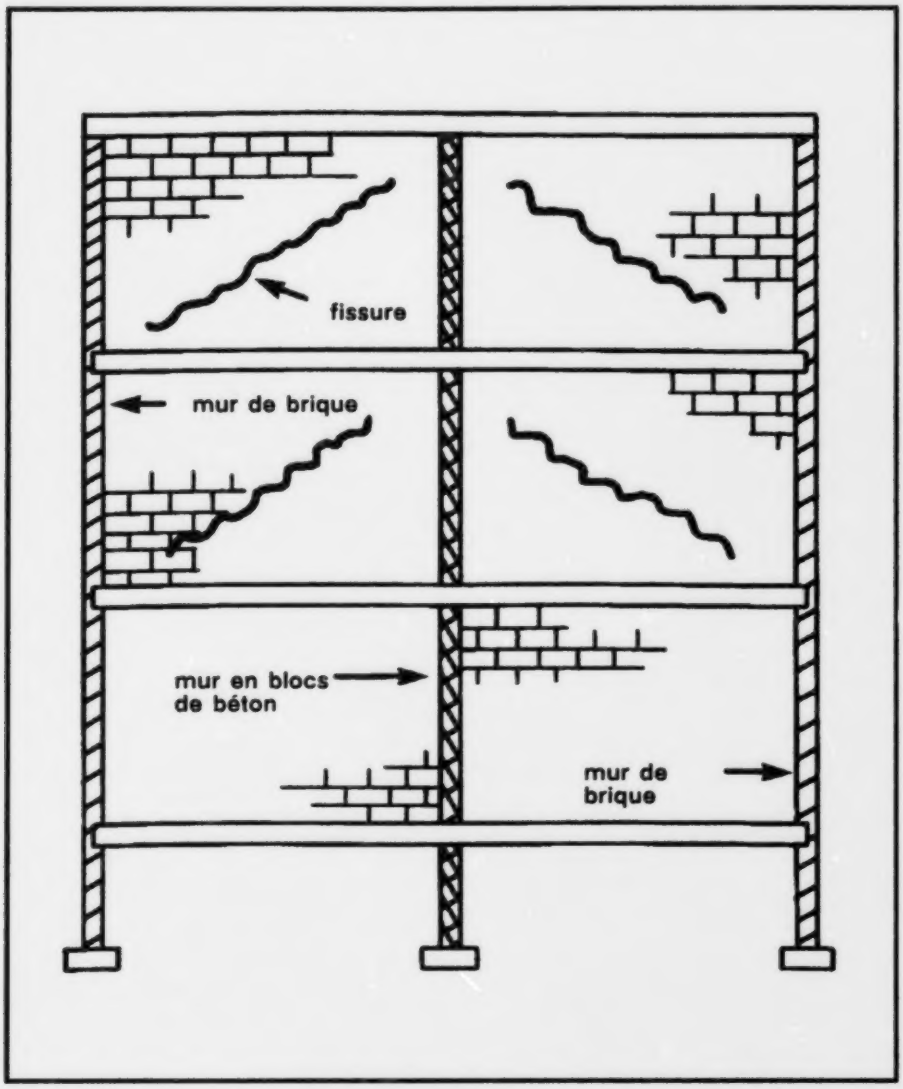


Figure 3.2.20 Fissures de cisaillement dans des murs transversaux

Elles sont causées par les mouvements différentiels dus à la présence de murs porteurs en briques et en blocs de béton dans le même bâtiment.

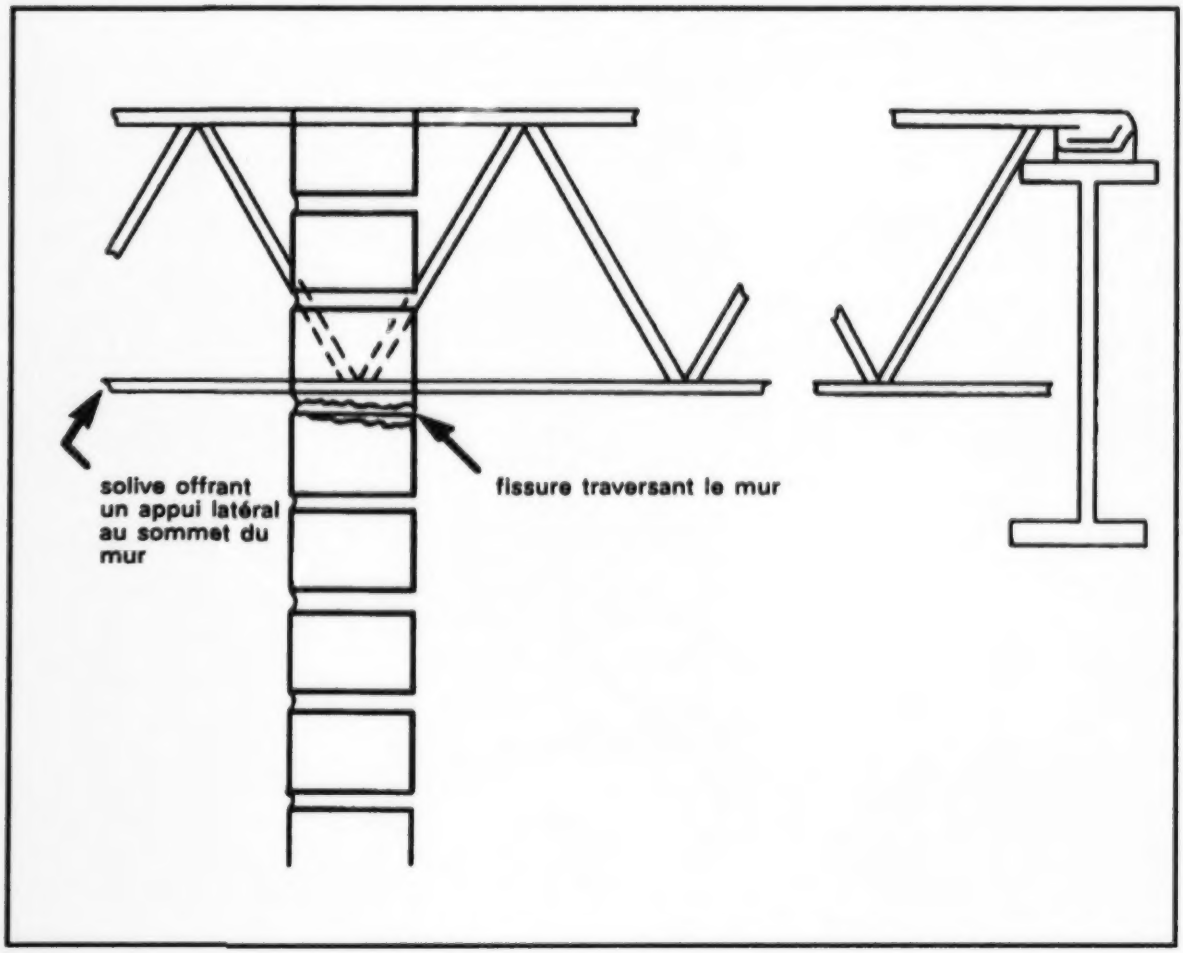


Figure 3.2.21 Retrait des blocs ou soulèvement par la structure

Fissure due à l'absence de mesures compensant le retrait des blocs.

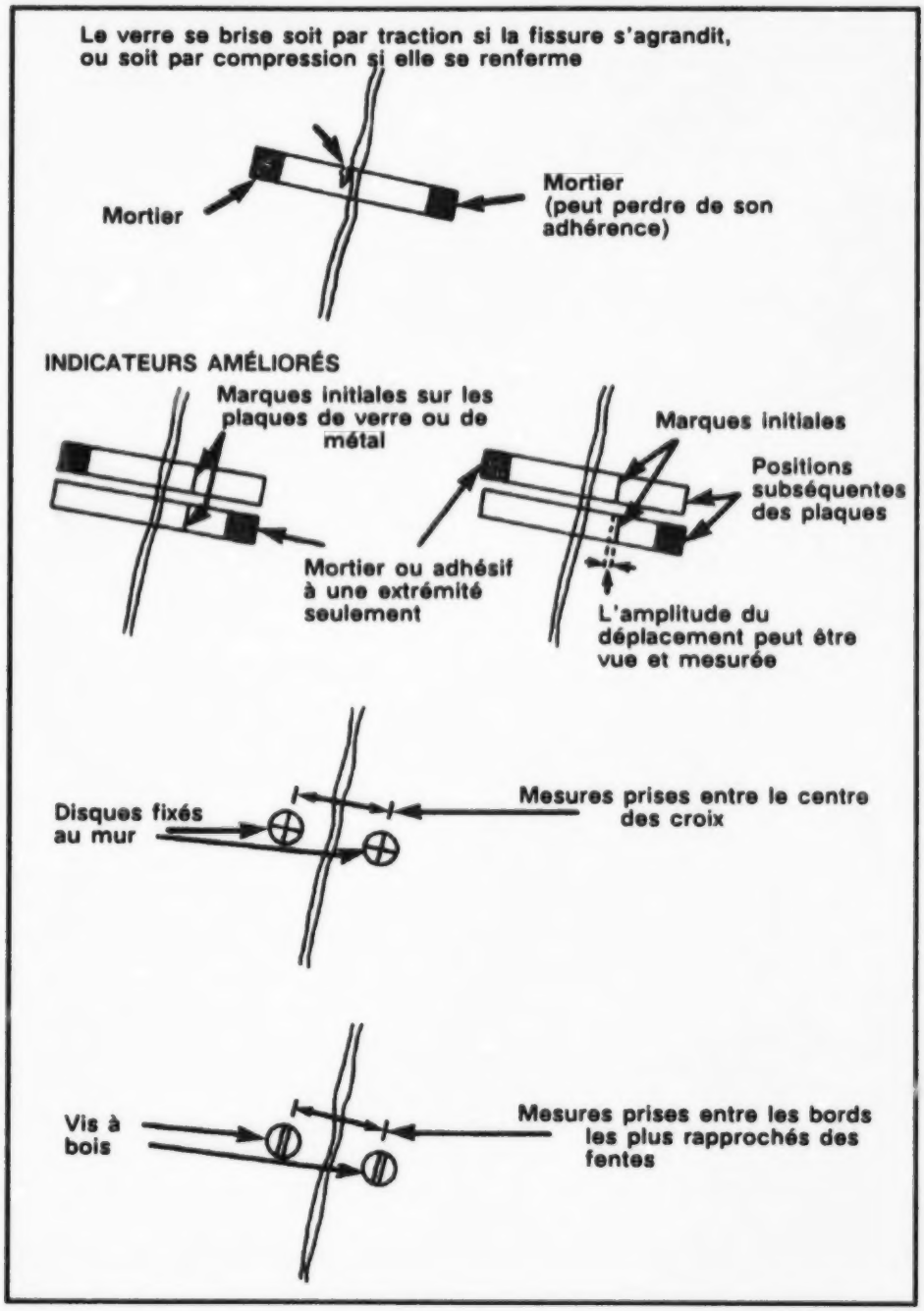

Le verre se brise soit par traction si la fissure s'agrandit, ou soit par compression si elle se renferme
Mortier
Mortier (peut perdre de son adhérence)
INDICATEURS AMÉLIORÉS
Marques initiales sur les plaques de verre ou de métal
Mortier ou adhésif à une extrémité seulement
Marques initiales
Positions subséquentes des plaques
L'amplitude du déplacement peut être vue et mesurée
Disques fixés au mur
Mesures prises entre le centre des croix
Vis à bois
Mesures prises entre les bords les plus rapprochés des fentes

Figure 3.2.22 Indicateurs courants pour le monitorage des fissures

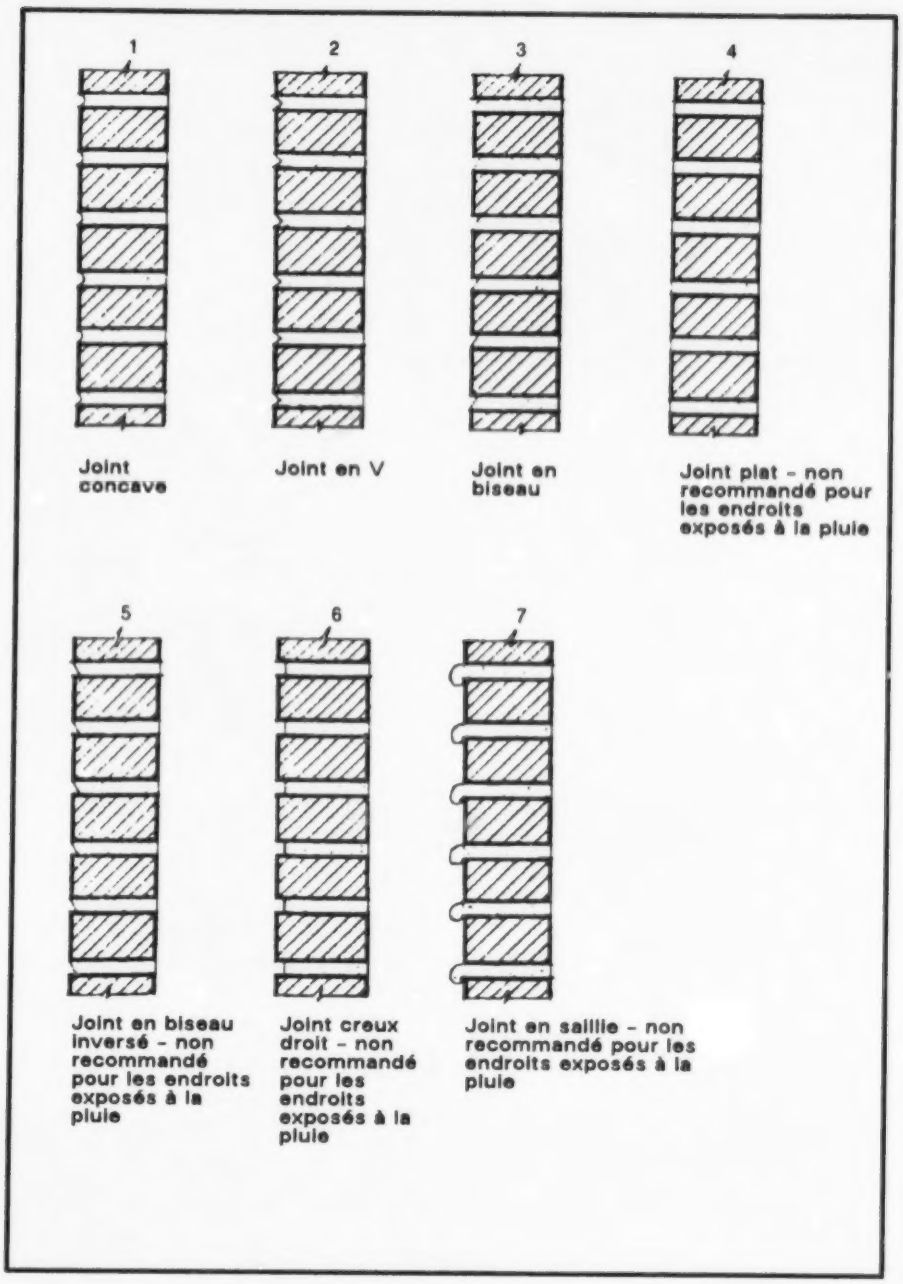

1
2
3
4
Joint concave
Joint en V
Joint en biseau
Joint plat - non recommandé pour les endroits exposés à la pluie
5
6
7
Joint en biseau inversé - non recommandé pour les endroits exposés à la pluie
Joint creux droit - non recommandé pour les endroits exposés à la pluie
Joint en saillie - non recommandé pour les endroits exposés à la pluie

Figure 3.2.23 Types de joints de mortier

Courtoisie de la SCHL

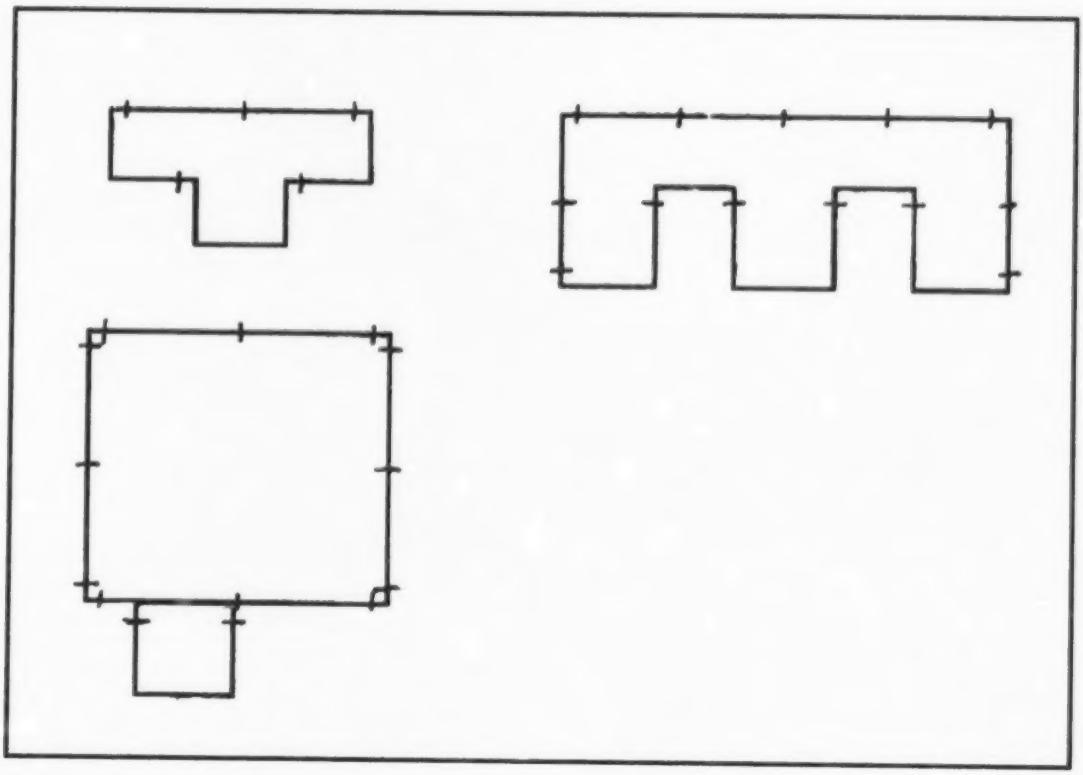


Figure 3.2.24 Emplacements types des joints de contrôle de déplacement

Courtoisie de la SCHL

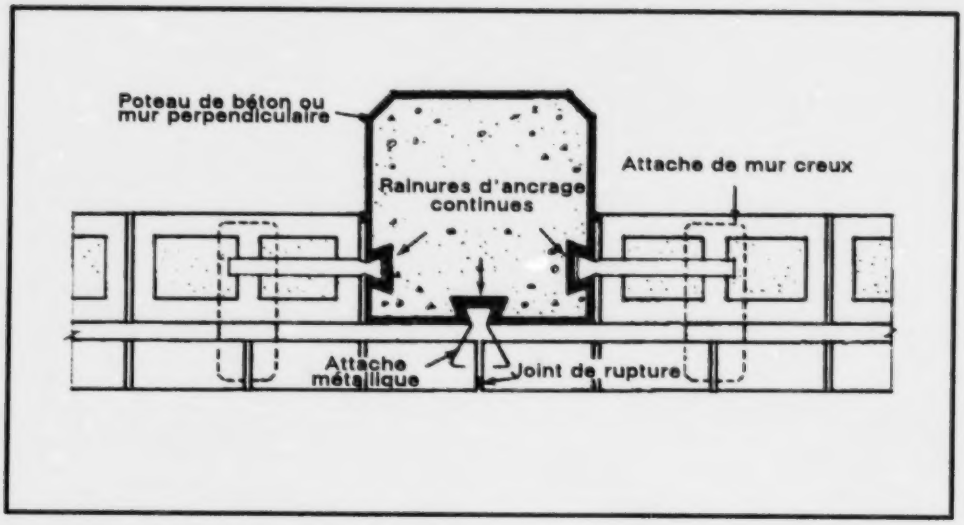


Figure 3.2.25 Joint de rupture au niveau d'une colonne

Courtoisie de la SCHL

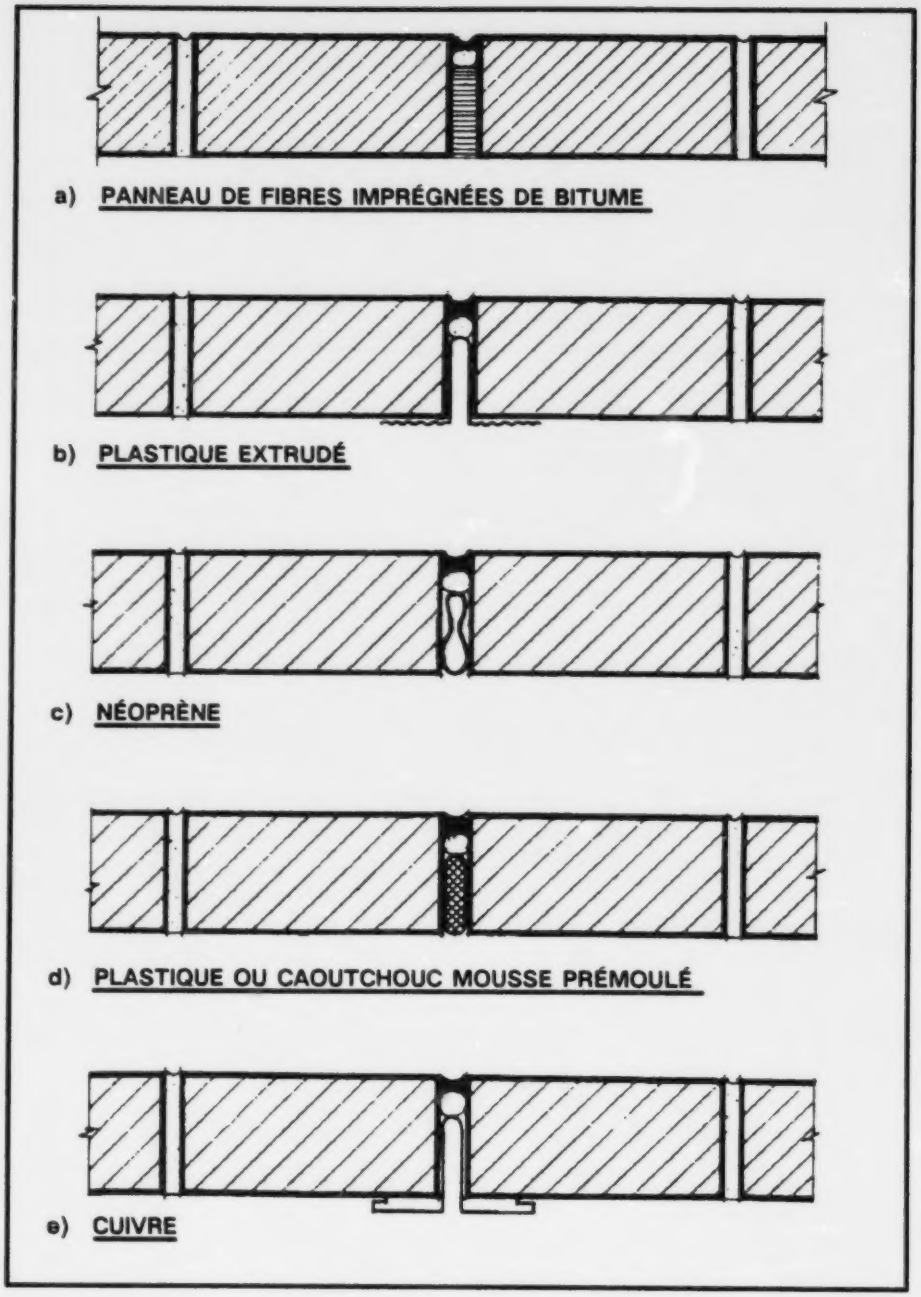

a) PANNEAU DE FIBRES IMPRÉGNÉES DE BITUME
b) PLASTIQUE EXTRUDÉ
c) NÉOPRÈNE
d) PLASTIQUE OU CAOUTCHOUC MOUSSE PRÉMOULÉ
e) CUIVRE

Figure 3.2.26 Largeur de remplissage des joints de dilatation

Courtoisie de la SCHL

Figure 27.1 - **Assemblages à assise directe**

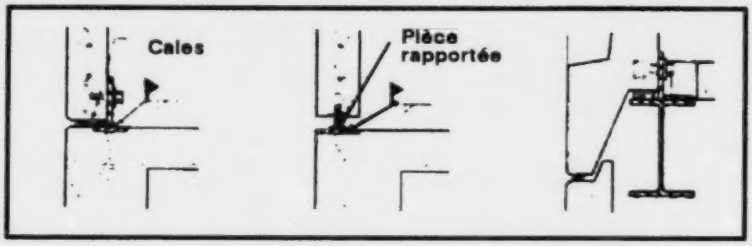


Figure 27.2 - **Assemblages à assise sur cornière**

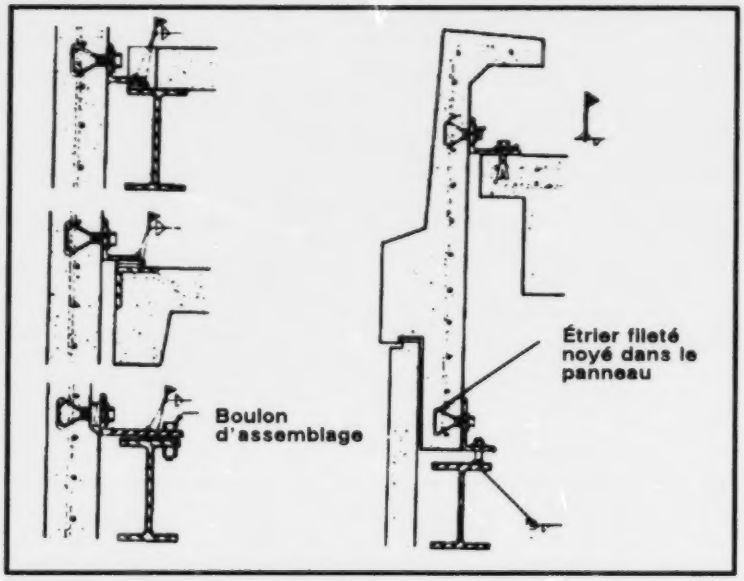


Figure 3.2.27 Détails d'ancrage des parements en béton préfabriqué

Courtoisie de la SCHL

Figure 27.3 – Assemblages au corbeau

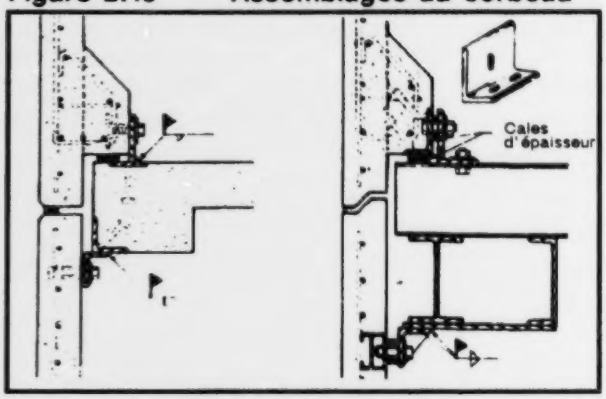


Figure 27.4 – Assemblages noyés

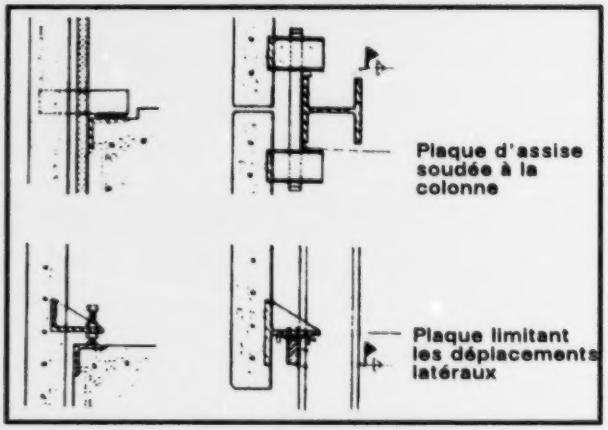


Figure 27.5 – Assemblages de retenue

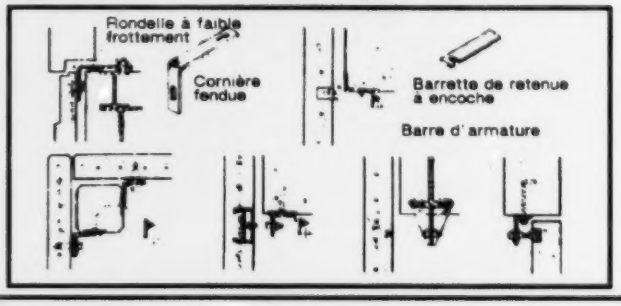


Figure 3.2.27 (suite)

DÉTAILS D'ANCRAGES TYPES POUR PLACAGES DE PIERRES

(a) Marbre

Données d'essai des ancrages

	Cisaillement (kN) (2)	Traction (kN) (2)
Défaillance moyenne	11	1.9
Coefficient de sécurité	30 to 1(3)	5 to 1(3)

(1) Ancrages conçus pour céder du côté panneau en cas de défaillance
(2) Par ancrage
(3) Basé sur le tableau des ancrages

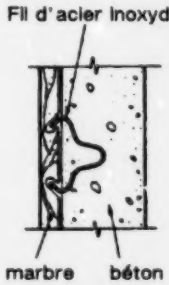


Tableau des ancrages

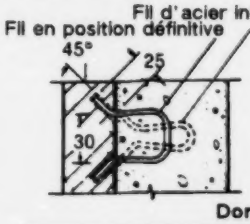
		Largeur des panneaux de marbre (mm)			
		150 à 300	300 à 1050	1050 à 1220	plus de 1220
Hauteur des panneaux de marbre	Jusqu'à 1400 mm	Un ancrage au haut, un ancrage au bas	Deux ancrages au haut, deux ancrages au bas	Deux ancrages au haut, deux ancrages au bas	Trois ancrages au haut, trois ancrages au bas
	1400 mm et plus	Ajouter un ancrage central	Ajouter un ancrage central	Ajouter un ancrage central	Ajouter deux ancrages centraux

Remarque: Les trous d'ancrage supérieurs et inférieurs de chaque panneau doivent être percés à l'arrière de ceux-ci et à proximité de leurs bords supérieur et inférieur. Ils doivent avoir 20 mm de profondeur, former des angles de 35° et se poser sur le plan vertical de façon à recevoir les ancrages préformés. Les trous d'ancrage centrés à l'arrière des panneaux de marbre doivent être percés, au besoin, de la même manière que ceux des ancrages supérieurs et inférieurs.

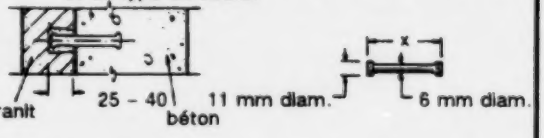
(b) Granite

Ancrage A
Résistance à la traction d'une tige: 10.4 kN
Résistance au cisaillement d'une tige: 7.8 kN

Ancrage B
Résistance à la traction de l'ancrage: 18.5 kN
Résistance au cisaillement de l'ancrage: 13.8 kN



La capacité dépend de la profondeur des trous et du type du coulis.



Données d'essai pour ancrage A

Type de trou	Cisaillement parallèle à l'ancrage (kN)	Cisaillement perpendiculaire à l'ancrage (kN)	Traction (kN)
Percé à la perceuse à diamant	10.7-11.8	14.0-16.0	3.5-5.0
Percé au carbure de tungstène	9.8 (approx.)	13.0 (approx.)	1.9

Remarque:
(1) Le coefficient de sécurité à appliquer pour la résistance à la traction et au cisaillement des ancrages est d'au moins 8.
(2) Replié vers l'extérieur, l'ancrage a environ 50 % plus de résistance à la traction que lorsqu'il est replié vers l'intérieur.
(3) Règle générale, les ancrages sont espacés de façon qu'il y en ait un par 0.25 à 0.5 m² de surface.

Figure 3.2.28 Détails d'ancrages types pour les placages de pierres

Courtoisie de l'institut canadien du béton précontraint
(Manuel de conception métrique)

4. RÉFÉRENCES

1. **Garages de stationnement : relevé de la condition**, préparé par la Division du génie civil, pour Rendement des immeubles, TPC, mars, 1988.

2. **Dalles et toîts structuraux : relevé de la condition**, préparé par la Division du génie civil, pour Rendement des immeubles, TPC, mars, 1988.

NORMES ET RÈGLEMENTS

3. **Code national du bâtiment du Canada**, 1985.

4. **Supplément du Code national du bâtiment**, 1985.

5. CAN3-A23.3-M84, **Calcul des ouvrages en béton dans les bâtiments**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1984.

6. CAN3-A23.2-M77, **Essais concernant le béton**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1977.

7. ACNOR A283-1980, **Code de qualification des laboratoires d'essai du béton**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, avril 1980.

8. CAN3-S16.1-M84, **Charpentes de bâtiment en acier**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1984.

9. CAN3-G40.20-M81, **Exigences générales relatives à l'acier de construction laminé ou soudé**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1981.

10. CAN3-086-M84, **Règles de calcul des charpentes en bois**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1984.

11. CAN3-S304-M84, **Calcul de la maçonnerie pour les bâtiments**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1984.

12. CSA A82.1-M1977, **Burned Clay Bricks**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, R1984.

13. CAN3-82.2-M78, **Méthodes d'échantillonnage et d'essai de la brique**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, R1984.

14. CAN3-A82.8-M78, **Brique creuse d'argile**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, R1984.

15. CAN3-A165.1-M85, **Éléments de maçonnerie en béton**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1985.

16. CAN3-A165.2-M85, **Briques en béton**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1985.

17. CAN3-A165.3-M1977, **Éléments de maçonnerie en béton glacés**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1977.

18. A179-M1976, **Mortier et coulis pour la grosse maçonnerie**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1976.

19. CAN3-A369.1-M84, **Méthode d'essai de résistance à la compression d'échantillons de maçonnerie**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1984.

20. CAN3-A370-M84, **Éléments de liaison de la maçonnerie**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1984.

21. CAN3-A371-M84, **Mise en oeuvre de la maçonnerie pour les bâtiments**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1984.

22. S269.1-1975, **Falsework for Construction Purposes**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario 1975.

23. S269.2-M1980, **Access Scaffolding for Construction Purposes**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1980.

24. S350-M1980, **Code of Practice for Safety in Demolition Structures**, Association canadienne de normalisation, Rexdale, Ontario, 1980.

25. Metric Design Manual – **Precast and Prestressed Concrete**, Institut canadien du béton précontraint, Ottawa, Ontario, 1982.

26. **Construction des murs extérieurs des bâtiments de grande hauteur**, Conseils et recommandations, Société canadienne d'hypothèques et de logement, LNH 5451, Ottawa, Ontario, décembre 1982.

AUTRES RÉFÉRENCES

27. Malhotra, V.M., **Testing Hardened Concrete: Non-destructive Methods**, American Concrete Institute Monograph No. 9, Detroit, Michigan, 1976.

RÉFÉRENCES SUR LA MAÇONNERIE

28. Lucas, J.J., **Causes and Cures for Deteriorating Masonry**, The Construction Specifier, Alexandria, Virginia, mars 1983.

29. Wintz, J.A. and Yorkdale, A.H., **Brock Veneer, Panel and Curtain Wall Systems**, The Construction Specifier, décembre 1983, pp. 24-35.

30. Marchello, M.J., **Steel Stud Curtain Wall Design Stands up to Rigorous Tests**, Canadian Building News, (non daté).

31. Grimm and Clayford T., **Design Brick Masonry Walls to avoid Structural Problems**, Architectural Record, octobre 1977, pp. 125-128.

32. Grimm and Clayford T., **Masonry Failure Investigations**, American Society for Testing Materials, STP 778, 1982, pp. 245–260.

33. **The Masonry Institute talks about steel studs and block back up**, Design Alert L5, (aucun autre document de référence disponible).

RÉFÉRENCES SUR L'ESSAI ET L'INSTRUMENTATION DES BÂTIMENTS

34. Hsi, G.C., H.S. Lew, F.Y. Yorkel and N.F. Somes, **Field Testing of Conventional Buildings for Static and Dynamic Deflections**, Nat. Bureau of Stand. Special Public. 361, Vol. 1, Proc. RILEM–ASTM–CIB Symp., 2–5 mai, 1972, Philadelphia, Penn.

35. **Roof Parapet Failure and Load Test – Building 18, Springhill Institution, Nova Scotia**, Travaux publics Canada, Halifax, Nouvelle–Écosse, juin 1984.

36. **In–Situ/Non–destructive Testing of Concrete**, édité par by W.M. Malhotra, American Concrete Institute, septembre 82, Detroit, Michigan, 1985.

RÉFÉRENCES SUR LES MURS RIDEAU

37. **Window and Wall Testing**, American Society for Testing Materials STP 552, Philadelphia, Pa., 1974.

38. **Methods of Test for Metal Curtain Walls**, NAAMM Standard TM–1–68T, Ill; 1969.

39. **Metal Curtain Wall Specifications Manual**, NAAMM, Ill., février 1968.

AUTRES RÉFÉRENCES

40. **Model Documents for the Evaluation, Approval, and Inspection of Manufactured Buildings**, NBS Building Science Series 87, U.S. Department of Commerce, NBS, juillet 1976.

41. **Technology of Building Maintenance**, Ministry of Public Building and Works, Conference Report, Bath University of Technology, 23–24 avril 1968, Londres, Angleterre.

42. **Building Defects and Maintenance**, Building Research Establishment, BRE Digests, The Construction Press Ltd., Lancaster, Angleterre, 1978.

43. **Design Failures in Buildings**, Première et seconde series, par Bickerdicke, Allen, Rich & Partners for Building 1971–72, George Godwin Ltd., Londres, Angleterre.

44. **Structural Engineering Handbook**, édité par E.H. Gaylor et C.N. Gaylor, McGraw–Hill, 1979.

45. Kavyrchine, M., **Inspection and Monitoring**, Int. Assoc. for Bridge & Structural Engineering Symp., IABSE, janvier 1983, Venise, Italie.

46. Wilson et Forrest, **Building Diagnostics**, Architectural Technology, hiver 1985.

47. Brill et Michael, **Performance Testing for Buildings**, ASCE J Construction, Div. v 98 n CO1, mars 1972.

48. W. G. Plewes. **A perspective on masonry serviceability**. Proceedings Third Canadian Masonry Symposium, Edmonton, 1983.

49. **Brick veneer panel and curtain walls**. BIA Technical Note 28B, Brick Institute of America, Reston, Virginia, 1980 (il peut y avoir une édition plus récente).

50. S.G. Fattal et al. **Evaluation of Structural Properties of Masonry in Existing Buildings**. NBSIR 74–520, National Bureau of Standards, USA, 1974.

51. **An investigation into methods of nondestructive evaluation of masonry structures**. Atkinson–Noland & Associates, NTIS, 1982.

52. **Wall cladding defects and their diagnostics**. BRE Digest 217, Building Research Establishment, Grande Bretagne.

53. **Criteria for structural adequacy of buildings**. The Institution of Structural Engineers, Grande Bretagne, 1976.

54. **The appraisal of existing structures**. The Institution of Structural Engineers, Grande Bretagne, 1980.

55. **Guide to the performance of buildings**. The Institution of Structural Engineers, Grande Bretagne, 1984.

5. ANNEXES

5.1 TERMES ET UNITÉS STANDARDS DE MESURE

Cette section est sans objet.

5.2 AUTORITÉS COMPÉTENTES ET RÉGLEMENTATION APPLICABLE

Tous les bâtiments du gouvernement fédéral construits au Canada doivent satisfaire aux exigences du Code national du bâtiment (CNB) en vigueur au cours de l'année de construction.

Le CNB renvoie à d'autres normes traitant des structures en béton, en acier et en bois. Parmi celles-ci, les normes ACNOR sont d'une importance particulière. Lorsqu'il n'existe pas de normes canadiennes, les recommandations de l'ASTM pour l'essai des matériaux de construction devraient être consultées.

5.3 LISTE DE VÉRIFICATION POUR L'ÉTAPE I – ANALYSE DES PLANS ET DES ARCHIVES

RÉSUMÉ DES RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR LES PLANS ET LE CAHIER DES CHARGES

5.3.1 Identification du bâtiment

Nom et adresse _____

Usage (bureaux, entrepôts, laboratoires, autres) _____

_____

Date de construction _____

Dates des rénovations ou modifications _____

_____

Date de la dernière révision des plans _____

Type de structure (structure d'acier, dalle plate, maçonnerie armée, béton précontraint, autres) _____

Nombre d'étages et dimensions générales approximatives

_____

Analyse faite par _____ Date _____

5.3.2 **Données de conception**

(Fournir les dessins ou descriptions sur des feuilles distinctes. Cocher chaque élément complété).

_____ Dessins montrant les sections et dimensions types. Utiliser un quadrillage et des coordonnées pour la localisation possible des éléments.

_____ Emplacement des joints de dilatation et de rupture et détails

(Les joints de dilatation sont-ils susceptibles de se remplir de débris? _____)

_____ Plan du bâtiment à tous les niveaux

_____ Dessins des murs et cloisons ayant un effet structural sur le plancher ou le le platelage de toit.

_____ Hauteur réelle sans appui des murs :
Hauteur admissible correspondante d'après le code : _____

_____ Dessins des supports latéraux des murs.

_____ Résistances des matériaux.

Résistance des matériaux	Résistance de calcul	Résistance mesurée àl'essai	Date de l'essai
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

_____ Armature des murs

	Type	Quantité
. murs extérieurs	_____	_____
. cloisons intérieures	_____	_____
. murs entourant des cages d'escaliers et ascenseurs	_____	_____

_____ Type d'attaches et espacement _____

_____

_____ Détails des solins: types, aux poteaux de pourtour, aux angles

. types
. aux poteaux de pourtour
. aux angles

_____ Chantepleures (détail et espacement)

_____ Largeur de calcul de la cavité _____

Largeur d'appui de calcul pour la brique sur la fondation et sur les cornières de support.

sur la fondation _____
sur les cornières de support _____

_____ Jeu de calcul au-dessous des cornières de support _____

5.3.3 **Dessins d'exécution**

_____ joindre des calques ou imprimés de l'élévation des murs extérieurs et des cloisons intérieures tirés des dessins d'architecture.

5.3.4 **Évaluation**

Sur une feuille distincte, fournir un résumé des éléments et situations susceptibles de ne pas être conformes au code en vigueur.

5.4 LISTE DE VÉRIFICATION POUR L'ÉTAPE I – ANALYSE DES LIEUX PAR DES EXPERTS

L'enquêteur devrait prolonger cette liste de vérification générale de manière à inclure les conditions particulières.

5.4.1 **Identification du bâtiment**

Nom et adresse _____

_____

_____

Gérant de l'immeuble _____ No. de téléphone _____
Date d'entrée en service _____

Description

_____ Usage (bureaux, entrepôt, laboratoire, autres)

_____

_____

_____ Date de construction _____

_____ Type de structure (dalle plate, béton précontraint, structure d'acier, autres)

_____

Résumé des rénovations, modifications ou réparations

_____

_____

_____

_____

Inspecté par _____ Date _____

5.4.2 Évaluation sommaire

(Cette partie doit être remplie d'après le reste de la liste de vérification. Utiliser les cotes suivantes: très mauvais/ mauvais/ passable/ bon/ très bon/ sans objet/ non accessible

	Apparence extérieure	Apparence intérieure	Cote globale
Murs extérieurs	____	____	____
Murs intérieurs, cloisons	____	____	____
Murs entourant des cages d'escalier ou des ascenseurs	____	____	____
Poteaux	____	____	____
Joints: de dilatation ou de rupture	____	____	____
Autres :	____	____	____

Commentaires sur les problèmes structuraux découverts dans les murs et poteaux (inclinaison, flambage, éclatement du béton, flèche, fissuration, humidité, corrosion, etc.)

_____

_____

_____

_____

5.4.3 Cote et évaluation des murs et colonnes

Faire des copies de la présente partie du formulaire et utiliser une page par étage. Utiliser les expressions suivantes : aucun/quelques-uns/nombreux/très nombreux/ inacceptable/acceptable.

5.4.3.1 Description

Emplacement _____

Type de mur ou poteau _____

Dimensions caractéristiques : hauteur _____

largeur _____

longueur _____

Accessibilité pour l'inspection _____

5.4.3.2 Évaluer l'état structural des murs et colonnes

Acceptabilité sur le plan visuel _____

Vérifier si les problèmes suivants sont visibles :

_____ flambage
_____ inclinaison
_____ déformations
_____ fissures dans les murs (plâtre, béton, briques, autres)
_____ briques, blocs, panneaux, attaches, etc. desserrés ou non adhérents
_____ gauchissement
_____ flèche excessive
_____ rotation des bords
_____ autres

Acceptabilité sur le plan du confort _____

_____ fissures et éléments desserrés causant du stress, de l'anxiété
_____ inégalités dans la surface des murs, l'alignement des poteaux
_____ effets du fléchissement: portes coincées, murs et enduits de plâtre fissurés
_____ défauts structuraux causant: des infiltrations ou exfiltrations, des courants d'air, le refroidissement des murs, etc.

Détérioration des matériaux _____

_____ fissures dans le mortier, le stuc, le plâtre ou la brique
_____ bases des poteaux fragmentées, corrodées ou désagrégées
_____ attaches ou ancrages corrodés
_____ armature corrodée
_____ matériaux éclatés
_____ matériaux non adhérents
_____ signes d'attaque chimique
_____ humidité, plaques humides sur le plafond et aux angles, efflorescence
_____ défauts des chantepleures de murs creux, de la protection contre l'eau
_____ pourrissement, mauvaises odeurs

Qualité d'exécution _____

_____ nids de gravier dans le béton
_____ coffrages défectueux
_____ barres d'armature à nu
_____ rapiéçages
_____ réparations visibles

Indices de détérioration de la structure

_____ détérioration de la base des poteaux ou des baies de porte due aux véhicules
_____ corrosion des boulons et assemblages
_____ dispositifs d'assemblage manquants
_____ détérioration des murs due au manque d'entretien
_____ modifications inadéquates à la structure (ouvertures dans les murs, enlèvement de poteaux)

Autres éléments ou problèmes

_____ joints de dilatation
_____ joints de rupture
_____ piliers
_____ attaches
_____ murs en surélévation
_____ fixations des poteaux
_____ espacement des armatures horizontales et verticales dans les murs
_____ solins défectueux
_____ chantepleures inopérantes
_____ largeur du creux de mur _____ mm
_____ écoulement de l'eau vers l'extérieur
_____ appui des briques _____ mm
_____ épaisseur du jeu au-dessous de la cornière de support _____ mm
_____ jeu au-dessous de la cornière de support rempli de mortier

5.5 QUESTIONS SUGGÉRÉES POUR L'ÉTAPE I - ANALYSE DE L'USAGE ET DE L'OCCUPATION

Les questions suivantes devraient être posées et les réponses enregistrées. Cette liste de questions peut devoir être allongée pour couvrir les conditions particulières. Le document "Qualification Code for Concrete Testing Laboratories" (référence 7) constitue une excellente source de questions.

1. Nom et adresse du bâtiment _____
_____

2. Date, heure et lieu de l'entrevue _____
_____

3. Nom, adresse ou numéro de téléphone de l'enquêteur _____
_____

4. Nom et occupation de l'interviewé _____
_____

5. Dates des rénovations ou modifications (commenter) _____
_____

Questionnaire

La liste qui suit peut aider à formuler les questions pertinentes.

5.5.1 **Questions à poser si l'interviewé était sur le chantier pendant la construction**

Éléments de maçonnerie

- problèmes de main-d'oeuvre sur le chantier ?
- combien y avait-il de maçons ?
- la protection contre les intempéries avait-elle été prévue pour les maçons et la maçonnerie pendant la construction (chaufferettes, bâches, enceintes, chauffage des éléments de maçonnerie, du sable, de l'eau)
- a-t-on utilisé des adjuvents pour mortier ?(type, marque de commerce)
- a-t-on utilisé du chlorure de sodium ou de calcium ?
- les murs ont-ils été recouverts chaque nuit ?
- murs creux : le creux a-t-il été gardé propre ? comment ?
- armature des joints ou attaches des murs ?
- l'armature des joints a-t-elle été coupée aux joints de dilatation et de rupture ?
- mortier : ciment à maçonnerie ou ciment Portland-chaux ?
- température: très chaude, chaude, tempérée, fraîche, froide, sous le point de congélation, pluie ? combien de jours ?
- mesures du mortier : pelles, auges à mortier ?
- comment les joints verticaux ont-ils été remplis ? (mortier posé sur la brique avant sa mise en place, mortier posé sur la brique précédente, à la truelle ou autrement ?)
- des ouvrages de maçonnerie ont-ils été rejointoyés ou détruits et reconstruits lors de la période de construction initiale ?
- position des attaches dans les murs : perpendiculaire au plan du mur ou en diagonale ?
- les briques étaient-elles humidifiées avant la pose ? à quelle fréquence? de quelle façon ?
- des inspecteurs se sont-ils présentés au chantier ? à combien de reprises ?
- des échantillons d'essai ont-ils été prélevés ?
- ancrages : quels types ? repliés vers le bas dans les alvéoles des blocs?
- la maçonnerie des briques est-elle armée ?
- a-t-on dérogé aux dispositions des plans et du cahier des charges lors de la construction?
- les briques ou blocs étaient-ils bien alignés ?
- les joints de dilatation ont-ils été réalisés au-dessous des cornières de support ?
- les cornières de support ont-elles été posées avant la maçonnerie ou ont-elles été posées au sommet de la maçonnerie ?
- la structure était-elle d'aplomb et d'alignement ou a-t-il fallu couper des briques pour les adapter aux poteaux, poutres de tympan ou cornières de support ?
- les joints protégés par un solin ont-ils été rendus étanches ?

- les cornières de support ont-elles été assemblées à onglet ou posées en porte-à-faux de façon à être continues aux angles ? ou sont-elles discontinues aux angles de murs?

Éléments en béton coulés en place

- y avait-il un contrôle de la qualité du béton de centrale ? quels essais étaient effectués ?
- l'armature était-elle inspectée avant les coulées ?
- a-t-on ajouté de l'eau dans la bétonnière sur le chantier ? si oui, pourquoi ? quand ? quelle quantité ?
- combien de barres d'armature étaient ligaturées entre deux étages ?
- comment assurait-on une bonne adhérence entre deux coulées ?
- les barres d'armature étaient-elles propres ?
- comment les barres d'armature étaient-elles maintenues en place pendant la coulée ?
- certains coffrages de poteaux ou de murs se sont-ils déplacés ou ont-ils subi un flambage pendant la coulée ? quelles mesures correctives ont été prises ?

Éléments de béton préfabriqués

- qui a fourni les éléments préfabriqués ? qui les a installés ?
- comment les assemblages ont-ils été réalisés ? a-t-on inspecté ces ouvrages ? par qui ?
- qualification des soudeurs, le cas échéant.
- des éléments de béton préfabriqués ont-ils été endommagés pendant le transport ou l'installation ? si oui, quelles réparations ont été faites?

Éléments en acier de construction

- les boulons d'ancrage correspondaient-ils aux plaques d'acier ?
- comment les poteaux étaient-ils calés ?
- du coulis ou du produit d'étanchéité a-t-il été posé autour et au-dessous des plaques d'appui ?
- l'écoulement se fait-il librement en partie inférieure des poteaux en acier à haute résistance ?
- toute la protection antirouille de l'acier est-elle intacte ?

Éléments d'ossature des murs – Poteaux en bois ou en acier

- comment l'ossature a-t-elle été réalisée ? préfabriquée en atelier ou réalisée sur le chantier ?
- quelle en était la qualité ? les murs étaient-ils bien alignés avec les poutres au-dessus et au-dessous ? des menuisiers ont-ils scié des éléments d'ossature pour faire passer des canalisations de service ?
- les poteaux porteurs s'opposant au vent et à la gravité ont-ils été inspectés après la construction ? quelles dispositions de conception ont-elles été incorporées à l'ouvrage ?
- a-t-on bien pris soin du papier de construction, du calfeutrage, du pare-air-vapeur ? y a-t-il eu beaucoup de perforations et déchirures accidentelles ?

5.5.2 **Questions à poser si l'interviewé est un occupant :**

- vous rappelez-vous que des réparations aient été faites ? des fissures obturées ?
- y a-t-il des plaques mouillées ? de l'humidité, des murs froids ? de la condensation ?
- y a-t-il des briques non adhérentes ?
- demander à l'occupant s'il a eu connaissance de problèmes structuraux et l'aider à formuler ses inquiétudes. Les mots clés suivants peuvent aider : charge, vent, neige, pluie, froid, infiltration, résistance, position, vertical, latéral, diagonal, plane, compression, allongement, flèche, rotation, gauchissement, perméabilité à l'eau, étanchéité à l'eau, résistance au feu, effets du feu, vibrations, fissures, craquelures, mortier, plâtre, blocs.

5.6 LISTE DE DOCUMENTS ÉVALUANT LE RENDEMENT DES IMMEUBLES

Dans cette série, les documents sont subdivisés en quatre classes différentes. Les documents de classe A donnent des explications à savoir comment utiliser les documents des trois autres classes. La classe B est un répertoire d'essais lequel inclut un index et des références. Les documents de classe C donnent un compte rendu des trois domaines d'évaluation et résument les documents de classe D dans leur domaine respectif. Les documents de classe D contiennent une description des attributs du rendement des immeubles et donnent les méthodes pour les évaluer.

	A1	Guide du directeur de projet
	A2	Guide du gérant d'immeuble
	B1	Répertoire d'essais
Relevés	C1	Rendement énergétique et environnemental
	C2	Rendement fonctionnel
	C3	Rendement des systèmes et du matériel
Rendement énergétique et environnemental	D01	Évaluation des polluants
	D02	Migration de la pollution
	D03	Évaluation de l'ambiance thermique
	D04	Évaluation globale: rendement énergétique
	D05	Évaluation des secteurs de consommation: rendement énergétique
	D06	Évaluation des installations et systèmes: rendement énergétique
	D07	Évaluation des améliorations: rendement énergétique
	D08	Évaluation de l'environnement acoustique
	D09	Évaluation de la circulation d'air
	D10	Évaluation de l'éclairage
	D11	Relevé des données atmosphériques
Rendement fonctionnel	D20	Analyse des documents et archives
	D21	Annotation des plans
	D22	Entrevues centrées
	D23	Questionnaires
	D24	Observations
Rendement des systèmes et du matériel	D30	Murs et colonnes structuraux: relevé de la condition
	D31	Dalles et toits structuraux: relevé de la condition
	D32	Garages de stationnement: relevé de la condition
	D33	Évaluation des installations mécaniques
	D34	Évaluation des contrôles mécaniques
	D35	Évaluation des systèmes électriques
	D36	Contrôle de la pression et de l'étanchéité à l'air
	D37	Mesure de la vitesse d'échange d'air extérieur
	D38	Inspections par thermographie de l'enceinte d'un immeuble
	D39	Mesure de la résistance thermique
	D40	Inspections de la teneur en humidité
	D41	Évaluation des systèmes de couvertures